B20396F

Max Planck FORSCHUNG



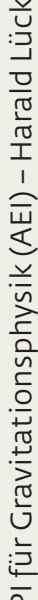
Das Wissenschaftsmagazin der Max-Planck-Gesellschaft 3.2013





KOGNITIONSWISSENSCHAFTEN

Kinder


Foto: MPI für Gravitationsphysik (AEI) – Harald Lück

In die Röhre gucken …

… wollen die Forscher des Max-Planck-Instituts für Gravitationsphysik auf keinen Fall. Geht es doch um nicht weniger als die Stütze für eine Säule des modernen Weltbilds, um die allgemeine Relativitätstheorie. So formulierte Albert Einstein im Jahr 1915 unter anderem, dass die beschleunigte Bewegung von Massen zu Störungen führt, die sich lichtschnell durch den Raum bewegen – Gravitationswellen genannt. Die Erde etwa beult bei ihrem jährlichen Lauf um die Sonne die Raumzeit aus und strahlt dabei Gravitationswellen ab. Angesichts der immensen Zahl von Planeten oder Doppelsternen müsste es im Weltall davon nur so wimmeln. Aber in den meisten Fällen sind die kosmischen Kräuselungen zu schwach, um mit irdischen Detektoren aufgespürt zu werden. Glücklicherweise gibt es im Universum aber noch viel heftigere Erschütterungen: den Tanz oder die Kollision von Neutronensternen und schwarzen Löchern oder die Explosion einer massereichen Sonne als Supernova.

Solche brachialen Ereignisse sind es, auf die Wissenschaftler weltweit warten – etwa auf einem Feld in Ruthe bei Hannover. Dort streckt GEO600 seine beiden jeweils 600 Meter langen Arme aus. Die evakuierten Edelstahlrohre haben 60 Zentimeter Durchmesser und sind zur Erhöhung der Stabilität gewellt. In ihnen verbirgt sich das zweitlängste Laserstrahl-Interferometer Europas. Das Messprinzip beruht auf der Tatsache, dass Gravitationswellen abwechselnd den Raum stauchen und dehnen. Rasen sie durch GEO600, verändern sie auch die Rennstrecken des Laserstrahls, der in den beiden senkrecht zueinander angeordneten Rohren läuft. Diese winzige Längendifferenz im Bereich von 10^{-19} Metern bringt die Lichtwellen im Detektor aus dem Takt. Ein Signal erscheint. Alarm! Bisher jedoch gab es nur Probealarme. Die Forscher tüfteln daran, die Empfindlichkeit der Anlage beständig zu erhöhen. Wenn der Kosmos wieder einmal bebt, möchten sie die Gravitationswellen endlich dingfest machen und damit ein neues Beobachtungsfenster ins All eröffnen.



Inhalt



18 KOGNITIONSWISSENSCHAFTEN

Kinder

ZUM TITEL Einer süßen Versuchung zu widerstehen fällt selbst den meisten Erwachsenen schwer. Kinder greifen noch viel schneller zu, wenn ein Teller mit den Lieblingskeksen in Reichweite steht. Die Fähigkeit, Impulse zu kontrollieren, wurde uns nicht in die Wiege gelegt, sondern muss sich im Laufe der Zeit erst entwickeln. Forscher nehmen das Verhalten von Kindern unter die Lupe.

PERSPEKTIVEN

ZUR SACHE

Titelseite: corbis; Fotos: Sven Döring (links), FreeLens Pool (rechts)

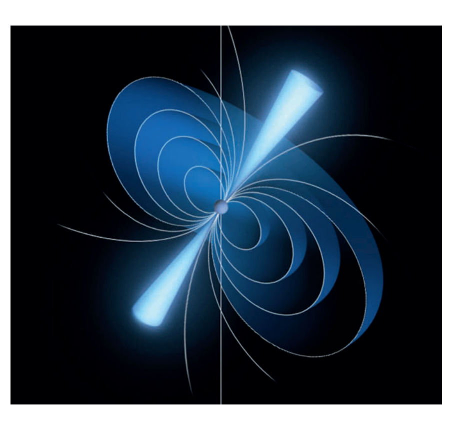

BIOMAX

NEUGIERIG AUF WISSENSCHAFT

Ins Netz gegangen – unbekannte Waffe unseres Immunsystems entdeckt

BIOMAX

Ins Netz gegangen – unbekannte Waffe unseres Immunsystems entdeckt.



48 Abgestrahlt: Pulsare sind rotierende Neutronensterne, die über ihre Magnetpole helle Lichtkegel aussenden.



56 Abgewehrt: Stefan H. E. Kaufmann hat sein Forscherleben dem Kampf gegen die Tuberkulose gewidmet.



72 Abgespeichert: In Feuchtgebieten wie hier in Schottland stecken große Mengen an Kohlenstoff.

FOKUS

SPEKTRUM

PHYSIK & ASTRONOMIE

BIOLOGIE & MEDIZIN

MATERIAL & TECHNIK

UMWELT & KLIMA

RUBRIKEN

Fotos: ESA medialab (links), Jonas Steengard (Mitte), stillpictures – images.de (rechts)

Open Access ist nicht zu stoppen



Facebook existierte nicht, an den Kurznachrichtendienst Twitter, der jetzt ganz selbstverständlich im Fernsehen zitiert wird, dachte niemand. Doch das Internet war im Jahr 2003 bereits ein wichtiger Faktor. Eben weil es erstmals ermöglichte, Informationen allumfassend für jedermann frei verfügbar zu machen, unterzeichnete die Max-Planck-Gesellschaft vor zehn Jahren mit den deutschen Wissenschaftsorganisationen und weiteren nationalen sowie internationalen Institutionen die *Berliner Erklärung über den offenen Zugang zu wissenschaftlichem Wissen*.

Seither entfaltet diese große Wirkmacht und ist ein Grundpfeiler der Open-Access-Bewegung. Nicht nur das Ziel des offenen Zugangs wurde formuliert, sondern auch konkrete Maßnahmen. Waren es anfangs 19 Institutionen, wird sie nun von mehr als 440 getragen. Das ist eine beeindruckende Entwicklung. Und doch nutzt die Wissenschaft, die das Medium maßgeblich geschaffen und mitentwickelt hat, nicht alle Potenziale. Sie bleibt – anders als etwa Social Media – noch hinter den Möglichkeiten zurück.

Die Wissenschaft schöpft nicht alle Möglichkeiten aus

Dennoch hat sich in den vergangenen zehn Jahren viel getan. Auf dem Weg zum Ziel der *Berliner Erklärung*, „das Internet als Instrument für eine weltweite Basis wissenschaftlicher Kenntnisse zu fördern", sind wir trotz bestehender Hürden entscheidend vorangekommen. Open Access, wonach veröffentlichte Forschungsergebnisse grundsätzlich kostenlos frei zugänglich, für jedermann erreichbar und weiterverwendbar sein sollen, ist unumkehrbar etabliert.

Auf dem goldenen Weg, also der direkten Veröffentlichung in Open-Access-Journals, sind mittlerweile etwa zehn Prozent der Fachpublikationen eines Jahres verfügbar – mit steigender Tendenz. Auf dem grünen Weg, wobei die Beiträge nach einem Erstabdruck in einer freien Onlinedatenbank erscheinen, kommen etwa zwölf Prozent dazu. Die Zahl dieser Datenbanken ist auf 2400 gestiegen, im *Directory of Open Access Journals* sind mehr als 9900 Titel gelistet. Das ist im Vergleich zum Mai 2012 ein Plus von fast dreißig Prozent.

Die anhaltende Dynamik ist sehr erfreulich, schließlich ist Open Access von enormer Bedeutung für die Wissenschaft. Erstens ist unsere „Mission, Wissen weiterzugeben, nur halb erfüllt, wenn diese Informationen für die Gesellschaft nicht in umfassender Weise und einfach zugänglich sind", wie es in der *Berliner Erklärung* heißt. Zweitens lebt Forschung vom Austausch der besten Ideen. Je umfassender und zeitnäher das möglich ist und je freier die Weiterverwendung der Ergebnisse, desto effektiver können Wissenschaftler arbeiten.

Gerade bei interdisziplinären Projekten werden neue Suchtechniken Ergebnisse verschiedener Fachbereiche besser aufbereiten können. Mit dem Vorteil, dass Erkenntnisse schneller gewonnen werden. Damit wird Forschung im Sinne des Gemeinwohls effektiver. Angesichts solcher Vorzüge bewerten beinahe neunzig Prozent der rund 38 000 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, die sich an der im Jahr 2011 vorgestellten EU-Studie SOAP beteiligt haben, Open Access als positiv.

Die Umsetzung braucht Zeit, weil wichtige Stellschrauben in einem für Wissenschaft bedeutenden System angepasst werden müssen. Geht es doch um das Herzstück, nämlich das Publizieren. Hier existiert eine lange Tradition, wonach Forscher jahrzehntelang etablierte und damit renommierte Fachzeitschriften als entscheidende Qualitätsreferenz für ihre Arbeit erachten –

30 Tage zum Jubiläum
Zum zehnten Jahrestag der „Berliner Erklärung" am 22. Oktober gibt es Themenwochen mit Veranstaltungen. Die Übersicht finden Sie im Internet: www.mpg.de/openaccess2013

Foto: Axel Griesch

sie erhoffen sich so größtmögliche Reputation in der Fachwelt und Impulse für die Karriere. Entsprechend können Verlage diese Journale teuer an Bibliotheken verkaufen.

Dieses Modell hatte lange Bestand. Es ist aber nun angesichts gewaltiger Preissteigerungen für solche Abonnements und der Restriktionen zu Open Access für die Wissenschaft nicht mehr hinnehmbar. Anstatt der Blackbox der Abopreis-Kalkulation brauchen wir Modelle, die sich an den tatsächlichen Publikationskosten orientieren und durch Transparenz und Nachhaltigkeit geprägt sind. Das Geld aus den bestehenden Abonnementbudgets muss überführt werden in Publikationsetats, aus denen dann die Veröffentlichungen der Autoren via Open Access finanziert werden.

Wir brauchen Modelle, die transparent und nachhaltig sind

Dieser Modellwandel ist an vielen Stellen im Gang. Wir haben dafür die Max Planck Digital Library als gemeinsame Serviceeinrichtung. Sie finanziert zentral Open-Access-Publikationen, verbessert aber auch für alle Institute die Bedingungen für den freien Zugang, indem sie Verträge mit Open-Access-Verlagen aushandelt und Infrastrukturen wie unsere eigene Open-Access-Datenbank ausbaut. So entstehen Standards, die alle unsere Wissenschaftler nutzen können.

Damit das freie Publizieren genauso attraktiv ist wie auf dem konventionellen Weg, stärken wir zudem konkret hochklassige Open-Access-Titel. Sie werden „bottom-up" aus der wissenschaftlichen Community entwickelt: Ein gutes Beispiel ist die 1998 am Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik gegründete Zeitschrift LIVING REVIEWS IN RELATIVITY, die sich laut internationalem Zitationsranking zur ersten Adresse ihres Fachgebiets entwickelt hat. Auch in den Geisteswissenschaften haben sich Titel wie DEMOGRAPHIC RESEARCH fest etabliert.

Mit dem Howard Hughes Medical Institute und dem Wellcome Trust unterstützt die Max-Planck-Gesellschaft zudem die 2012 gegründete Onlinezeitschrift ELIFE mit dem Ziel, im Gebiet der Biowissenschaften ein internationales Topjournal als Open-Access-Alternative zu etablieren. Das aus renommierten, aktiven Wissenschaftlern bestehende Editorial-Board sieht dabei die Autoren als Kunden. Deshalb wurde das von unabhängigen Forschern durchgeführte Begutachtungsverfahren so optimiert, dass höchste Qualität sichergestellt bleibt, aber der Arbeits- und Zeitaufwand für die Autoren geringer ist. Im Schnitt vergehen nicht mehr als 77 Tage bis zur Entscheidung über die Veröffentlichung.

Zudem nutzt ELIFE konsequent die Möglichkeiten des Internets. Dazu gehört, dass das Wissen leicht geteilt und weiterverarbeitet werden kann – aber auch, dass der Autor in Echtzeit sieht, wie seine Veröffentlichung nachgefragt wird. Mit diesem Mix ist ELIFE sehr innovativ. Natürlich kann das Journal nicht von heute auf morgen zu CELL, NATURE oder SCIENCE aufschließen, aber das Projekt mit bereits etwa 190 veröffentlichten Fachbeiträgen ist auf einem vielversprechenden Weg.

Diese zwei wichtigen Ansätze zur Umstellung des Publikationssystems müssen, weil Open Access eine weltweite Initiative der Wissenschaft für die Wissenschaft ist, auch international koordiniert werden. Dabei sind wir auf zentrale Weise eingebunden, auch als Mitorganisator der Folgekonferenzen zur *Berliner Erklärung*, die sich zu einer festen Plattform entwickelt haben. Vom 19. bis 20. November findet die elfte Konferenz wieder in Berlin statt. Diskutiert wird dann auch über Strategien der Politik. Schließlich hat Open Access längst die Regierungen in aller Welt erreicht.

Der Umgang ist aber unterschiedlich. Die deutsche Politik beschäftigte sich zuletzt nicht mit dem großen Ganzen, sondern mit einem zentralen Baustein: dem Urheberrecht. Die nun beschlossene Novelle sichert Autoren wissenschaftlicher Beiträge nach einer Erstveröffentlichung in einer Abo-Zeitschrift zwar das Recht, ihr Werk frei zugänglich zu machen. Doch sind die Regelungen an zu viele Bedingungen geknüpft und lassen durch den weitgehenden Ausschluss der Hochschulangehörigen einen großen Teil der deutschen Forscher unberücksichtigt. Wir setzen daher auf weitere Verbesserungen. Das betrifft auch die generelle Wartefrist zwischen Erst- und Zweitveröffentlichung, die mit zwölf Monaten zu lang ist. Zudem bedarf es einer offiziellen politischen Positionierung der Bundesregierung und einer nationalen Strategie zu Open Access, die in den europäischen Rahmen eingepasst ist.

Bundesregierung muss sich politisch positionieren

Die Europäische Union ist in der Umsetzung einen Schritt weiter, wenn von 2014 an das neue Rahmenprogramm für Forschung und Innovation gilt: Die Ergebnisse aller über Horizon 2020 geförderten Projekte sind grundsätzlich per Open Access zu veröffentlichen – die Kosten dafür Teil der Förderung. Das ist ein wichtiger Impuls für den Europäischen Forschungsraum und wird auch dem Ziel der *Berliner Erklärung* Schub geben.

Peter Gruss,
Präsident der Max-Planck-Gesellschaft

Starkes Podium für mehr Forschung

Diskussion in neuen Räumen des Brüsseler Büros der Max-Planck-Gesellschaft

Fünf Experten und doch eine Meinung: Bei der Podiumsdiskussion zum Thema „Mehr Investitionen in die Forschung – ein Weg aus der europäischen Krise?“ in den neuen Räumlichkeiten des Brüsseler Büros der Max-Planck-Gesellschaft haben die Redner einen breiten Konsens gefunden. Vor mehr als 40 hochrangigen Gästen stellten sie die Bedeutung von Wissenschaft als Motor für Wirtschaftswachstum heraus, betonten dabei aber, dass neben dem Finanzvolumen auch die Forschungsstrukturen und Förderprinzipien verbessert werden müssen. „Der Zusammenhang ist evident: Investitionen in Wissenschaft, vor allem in die Grundlagenforschung, sind ein Schlüsselfaktor für technologische Führerschaft“, sagte Max-Planck-Präsident Peter Gruss. Und dabei sei vor allem der Beitrag aus der Spitzenforschung maßgeblich. „Die seit 2004 beigetretenen EU-Staaten werben nur zwei Prozent der Grants des Europäischen Forschungsrats ein, obwohl sie 20 Prozent der Bevölkerung ausmachen. Hier liegt noch enormes Potenzial brach, das Europa nutzen muss, um im internationalen Kontext zu bestehen“, betonte Gruss. Darauf zielt das neue Instrument Teaming Excellence der EU ab, bei dem sich führende Forschungseinrichtungen mit Partnern in weniger entwickelten Regionen zusammentun, um vor Ort international sichtbare Forschungszentren zu entwickeln. „Teaming Excellence erzeugt quasi ein Evaluationssystem für exzellente Forschungsstrukturen“, sagte der Max-Planck-Präsident. Seine eigentliche Wirkung entfalte das Instrument, indem es maßgebliche Summen aus den Strukturfonds für Forschungsförderung mobilisiert.



Diskutierten in Brüssel (von links): Robert-Jan Smits, Generaldirektor für Forschung und Innovation der EU-Kommission, die Europaabgeordnete Maria da Graça Carvalho, Max-Planck-Präsident Peter Gruss, Stefan Marcinowski, ehemaliges Vorstandsmitglied bei BASF, und Tschechiens Bildungsminister Dalibor Štys. Moderiert wurde die Podiumsdiskussion von der Journalistin Jacki Davis (Dritte von rechts).

Lizenz an Dolby

Unternehmen will Technik zur Bildverarbeitung weiterentwickeln

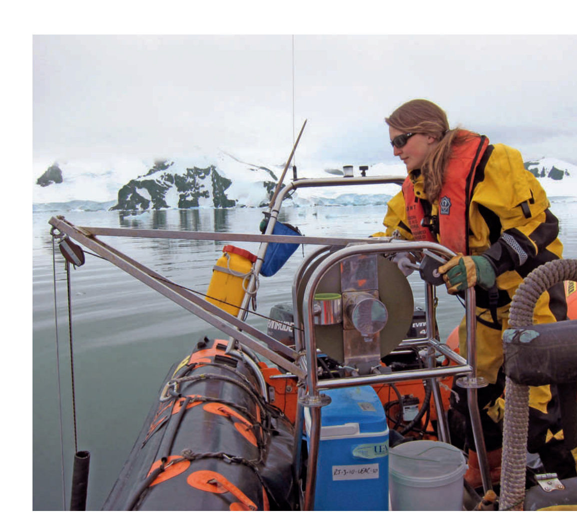
HDR-Imaging wird seit vielen Jahren in der Fotografie genutzt und findet nun zunehmend auch in Filmen Verwendung. Die Bilder werden dabei mit einem breiten Helligkeitsbereich von sehr hell bis sehr dunkel aufgenommen. Dieses breite Spektrum ermöglicht es, realistische Lichtintensität und Farbgebung noch präziser als in bisherigen Digitalaufnahmen darzustellen. Die damit verbundenen höheren Datenmengen erfordern jedoch eine weiterentwickelte Verarbeitungsmethode für die Kompatibilität mit herkömmlichen LDR-Systemen. Zusammen mit ihrem Team vom Max-Planck-Institut für Informatik haben Hans-Peter Seidel und Karol Myszkowski das neue Verfahren für die Verarbeitung von HDR-Bilddaten entwickelt, welches die Datenmenge erheblich reduziert. Jetzt will Dolby eine Anwendung dieser Technik für Bildschirme der nächsten Generation entwickeln. „Dolby Laboratories ist der perfekte Lizenznehmer, denn das Unternehmen ist in der Lage, diese Erfindung in eine großartige Bildverarbeitungstechnik für hervorragende Unterhaltungserlebnisse umzusetzen“, sagt Bernd Ctortecka, Lizenzmanager bei Max-Planck-Innovation.

Foto: Horst Wagner

Die Weltmeere als Labor

Wissenschaftler bereiten sich auf den Ocean Sampling Day vor

Die Ozeane sind voller Bakterien. Äußerlich sehen diese nahezu gleich aus, doch es gibt viele verschiedene Arten mit unterschiedlichen Lebensweisen. Welche Rolle spielen Bakteriengemeinschaften in verschiedenen Ökosystemen und in Nahrungsketten? Um das herauszufinden, wird am 21. Juni 2014 der Ocean Sampling Day (OSD) veranstaltet. Die weltweite Probenahme, die auf die Beteiligung von wissenschaftsbegeisterten Privatpersonen (*Citizen science*) und internationalen Forschungsstationen setzt, soll Wissenschaftlern um Frank Oliver Glöckner am Max-Planck-Institut für marine Mikrobiologie und der Jacobs University Bremen helfen, sich ein umfassendes Bild über das mikrobielle Leben in den Weltmeeren zu verschaffen, und gleichzeitig Bewusstsein für diese fragilen Ökosysteme schaffen. Über die Crowdfunding-Plattform Indiegogo wollen die Wissenschaftler für dieses ambitionierte Projekt seit 1. Oktober 2013 innerhalb von nur 40 Tagen rund 80 000 US-Dollar einwerben. Wie Sie sich daran beteiligen können, erfahren Sie auf folgender Webseite:
www.my-osd.org



Ökoysteme im Fokus: Fachleute und Laien werden am 21. Juni 2014 weltweit Proben aus den Ozeanen ziehen.

Foto: Ocean Sampling Day

„Südkorea setzt auf ein Erfolgsmodell“

Warum das Hightech-Land Forschungszentren nach dem Max-Planck-Prinzip errichtet



Peter Fulde

Grundlagenforschung nach dem Modell der Max-Planck-Gesellschaft – explizit benennt Südkoreas Regierung das Vorbild, nach dem das Institute for Basic Science (IBS) aufgebaut wird. Bis 2017 soll es fünfzig Research Center umfassen. Das ist der Kern der Initiative „International Science and Business Belt (ISBB)“. Ein Gespräch mit Peter Fulde (77), der nach der Wende in Dresden das erste Max-Planck-Institut aufbaute und nun die Verantwortlichen des IBS berät.

Herr Fulde, von Dresden nach Ostasien ist es ein weiter Weg. Wie kamen Sie zu dem Engagement?

Peter Fulde: Die physikalischen Gesellschaften im asiatisch-pazifischen Raum hatten, kurz nachdem das Max-Planck-Institut für Physik komplexer Systeme in Dresden gegründet wurde, beschlossen, ein ähnliches Institut zu etablieren. Nach meiner Emeritierung wurde ich angefragt, den Aufbau des Asia Pacific Center for Theoretical Physics in Pohang als Präsident voranzutreiben. Seit 2007 bin ich da, mittlerweile verbringe ich mehr als die Hälfte des Jahres in Südkorea, und das Center ist etabliert, auch dank der Unterstützung der Max-Planck-Gesellschaft, die eine Nachwuchsgruppe finanziert hat. Dieses Modell mit viel Freiheit für junge talentierte Leute gab es vorher in Südkorea nicht – nun ist es nicht mehr wegzudenken und wird inländisch gefördert. Augenblicklich gibt es sechs solcher Gruppen. Auch beim Institute for Basic Science, der koreanischen Version von Max-Planck, läuft ein ähnliches Programm an.

Südkorea gilt als Hightech-Land – wieso braucht es das IBS-Programm?

In Sachen Industrie ist Südkorea sicher ein Hightech-Land. Auch was die Infrastruktur betrifft. Aber, und das hat Staatspräsident Lee Myung-bak bei der Vorstellung des Gesetzes zum ISBB deutlich gemacht: Während Anwendungs- und Industrieforschung gut dastehen, ist die Grundlagenforschung zu wenig entwickelt. Diese Lücke soll das IBS schließen. Die Idee: Südkorea sieht sich bisher als „close follower“ in der Hochtechnologie, mit der Fähigkeit, innovative Grundideen anderer aufzunehmen und daraus Produkte zu entwickeln, die sogar besser sind als die Vorbilder. Charakteristisch dafür sind die Auseinandersetzungen zwischen Samsung und dem US-Konzern Apple. Nun ist die Regierung der Meinung, dass China diese Rolle bald übernehmen wird. Südkorea will sich neu ausrichten, zum „technology leader“ werden – selbst bahnbrechendes Wissen erarbeiten. Dabei soll eine starke Grundlagenforschung die entscheidende Rolle spielen.

Wie orientiert man sich beim Aufbau des IBS an der Max-Planck-Gesellschaft?

Jedes Land muss seine eigene Form der optimalen Organisation finden, aber es ist immer gut, sich zu informieren: Wie haben das andere gemacht, die besonders erfolgreich sind? Deshalb haben IBS-Mitarbeiter Max-Planck-Institute und die Generalverwaltung besucht. In den IBS-Zentren gelten nun generelle Max-Planck-Prinzipien: Autonomie und Freiheit der Forscher sowie das Harnack-Prinzip. Um die Besten zu berufen, gibt es internationale Ausschreibungen, die von einem „Selection and Evaluation Committee“ kritisch ausgewertet werden. Dazu soll ähnlich wie bei Max-Planck evaluiert werden. Es ist auch kein Zufall, dass mit mir ein ausländischer Wissenschaftler den Vorsitz des Komitees übernommen hat und die Hälfte der Mitglieder aus dem Ausland kommen. Man will die Berufungsverfahren – der entscheidende Punkt für Exzellenz – möglichst objektiv machen und sich international öffnen. Übrigens sind inzwischen mit Jos Lelieveld und Hans Wolfgang Spiess zwei weitere Max-Planck-Wissenschaftler in das Komitee berufen worden.

Das IBS hat vor gut einem Jahr seine Arbeit begonnen. Wie ist der aktuelle Stand?

Das IBS selbst ist ja kein Institut, sondern der Mantel, unter dem fünfzig unabhängige Zentren gegründet werden. Sie haben je ein Budget von etwa zehn Millionen US-Dollar pro Jahr, sollen einen angesehenen Forscher als Leiter haben und etwa sechzig weitere Wissenschaftler beschäftigen. Schwerpunkt sind die Naturwissenschaften unter Einbezug der Life Sciences. Etwa zwanzig Center wurden bereits gegründet. Das Hauptquartier unter Leitung von IBS-Präsident Se-Jung Oh entsteht in Daejeon. Seit Jahresbeginn gibt es eine neue Staatspräsidentin. Weil es im Land verschiedene neue Schwerpunkte gibt, hat sich der weitere Aufbau etwas verlangsamt. Aber da das IBS mithilfe eines Gesetzes gegründet wurde, steht es auf festen Füßen.

Wie fügt sich das IBS mit den Zentren in die Forschungslandschaft ein?

Die Universitäten betreiben bereits Grundlagenforschung, nicht aber so konzertiert, wie es am IBS geschieht. Zudem gibt es nur wenige unter den zahlreichen Universitäten, die nach deutschem Maßstab sehr gut sind. Das IBS bekommt deshalb großes Gewicht. Nach langer politischer Debatte ist nun klar, wie die Zentren regional verteilt werden. Diese Dezentralisierung ist plausibel, weil sie sich auch nach fachlichen Schwerpunkten richtet. Nimmt man die bestehenden Zentren für angewandte Forschung hinzu, erscheint das als solide Weiterentwicklung, die dem System Schwung geben wird.

Sehen Sie Parallelen zum Aufbau der Max-Planck-Institute in den neuen Ländern?

Man muss Wohlstand, Leistungsstärke und Qualität in einem Land dort entwickeln, wo es dafür geeignete Voraussetzungen gibt. Möglich wird das, indem man sich dabei an besonders erfolgreichen Modellen orientiert. So war es in den neuen Bundesländern beim Aufbau der Spitzenwissenschaft. So gehen nun die Koreaner vor: Sie übernehmen das von der Max-Planck-Gesellschaft, was sich als erfolgreich herausgestellt hat. Dabei geht es nicht um Kopieren, das kann, wie gesagt, nicht das Ziel sein. Es geht um die Fähigkeit, offen zu sein für den besten Weg. Die Koreaner sind dabei extrem lernfähig, haben die Bereitschaft zuzuhören und führen dann notwendige Veränderungen durch. Das ist beeindruckend.

Interview: Jens Eschert

Foto: privat

Kriminalität systematisch verstehen

Max-Planck-Partnergruppe mit der Universität Zagreb etabliert

Der Balkan lebt mit Vorurteilen, etwa dem, dass es in der Region besonders gefährlich sei. Dass aktuelle Studien das Gegenteil belegen und damit Differenzen zwischen Realität und Wahrnehmung offenbar werden, ist einer der Aspekte, die jetzt die neue Max-Planck-Partnergruppe „Balkan-Kriminologie“ untersuchen wird. Dabei verfolgt die Leiterin Anna-Maria Getoš einen systematischen Ansatz, um die „kriminologische Forschung in Südosteuropa zu bündeln, fortzuentwickeln und ihre Wahrnehmung in Europa und darüber hinaus zu erhöhen“. Die Kriminologin hat am Max-Planck-Institut für ausländisches und internationales Strafrecht promoviert und arbeitet jetzt als Juniorprofessorin an der Rechtswissenschaftlichen Fakultät der Universität Zagreb. Die Partnergruppe wird von beiden Einrichtungen getragen, Ende Juni fand in Zagreb das Einweihungssymposium statt. Forschungsschwerpunkte sind die Bereiche „Gewalt, organisierte Kriminalität und illegale Märkte“, „Gefühle und Wahrnehmung von (Un-)Sicherheit und Kriminalität“ sowie „Internationale Strafzumessung“. Bei Letzterem geht es auch darum, wie die verhältnismäßig milden Urteile des Internationalen Strafgerichtshofs für das ehemalige Jugoslawien die Rechtskultur in der Region und die normative Weiterentwicklung des internationalen Strafrechts beeinflussen.
www.balkan-criminology.eu



Podiumsgespräch bei der Einweihung: Die Leiterin der Partnergruppe Anna-Maria Getoš mit Max-Planck-Direktor Hans-Jörg Albrecht, Davor Derenčinović und Dekan Zoran Parać von der Universität Zagreb sowie Claudia Hillinger, Generalverwaltung der Max-Planck-Gesellschaft (von rechts).

Ins Netz gegangen



PianoText
Bei Pianisten wie dem chinesischen Klaviervirtuosen Lang Lang sieht es mühelos aus: Gekonnt und in Windeseile gleiten die Finger bei Stücken von Mozart, Rachmaninow oder Tschaikowsky über die Tasten des Klaviers. Diese Fingerfertigkeit haben sich Saarbrücker Informatiker zum Vorbild genommen – und ein Verfahren entwickelt, das die Tasten des Klaviers nutzt, um Texte zu schreiben. Wie das funktioniert und klingt, zeigt ein Film, der auf der Webseite des Max-Planck-Instituts für Informatik zu sehen ist.
pianotext.mpi-inf.mpg.de

Showdown in der Galaxis
Im Zentrum unserer Milchstraße befindet sich ein supermassives schwarzes Loch. Nicht einmal Licht entkommt seiner Schwerkraft. Doch Infrarotkameras des *Very Large Telescope* in Chile liefern faszinierende Bilder von Sternen, die das schwarze Loch umkreisen, und von einer Gaswolke, die von diesem Massemonster angezogen wird. Neueste Computersimulationen, die jetzt auf unserem Youtube-Kanal zu sehen sind, zeigen, wie die Wolke in den kommenden Jahren teilweise zerstört und aufgesogen wird.
www.youtube.com/maxplancksociety

Bilder des Menschen
Der Bildhauer Andreas Kuhnlein arbeitet nicht mit Hohleisen, Klöpfel und Schnitzmesser. Wenn er Skulpturen aus Ulmen- oder Eichenholz schafft, verwendet er lediglich seine Kettensäge. Dadurch entstehen Menschenbilder, die auf den ersten Blick ruppig wirken, aber urtümliche Kraft und Schönheit ausstrahlen. Bis zum 29. November werden die Werke des Künstlers im Max-Planck-Haus in München zu sehen sein, ebenso in der Langen Nacht der Münchner Museen am 19. Oktober. Eine Auswahl aktueller Projekte des Bildhauers finden Kunstbegeisterte auf seiner Webseite.
www.kuhnlein-bildhauer.de

Die Kraft eines Atemzugs
Bewusst einen Atemzug wahrnehmen – eine ganz einfache Handlung. Und doch kann sie Verbundenheit, Empathie und Mitgefühl schaffen, eine bewusste Präsenz für den anderen. Der zwölfminütige Kurzfilm *Where mind and body swing back and forth* des Berliner Künstlers Olafur Eliasson lässt außergewöhnliche Denker zu Wort kommen: Wie verändert sich durch bewusstes Atmen ihre Selbstwahrnehmung, ihre Wahrnehmung des anderen und der Welt um sie herum? Ein spannendes Kunstprojekt.
www.vimeo.com/74357590

Foto: OH

Scheitern **auf Raten**

Im Rahmen der internationalen Ausweitung von Finanzmärkten hatten Mikrokredite die Hoffnung geweckt, die Armut im „globalen Süden“ einzudämmen und Frauen zu emanzipieren. Doch leider ist keine positive Wirkung der Mikrofinanz nachzuweisen, im Gegenteil: Die Disziplinierung der Armen und die Abschöpfung von Mehrwert haben zugenommen. Zudem hat der Mikrofinanzsektor eine Reihe verheerender Krisen ausgelöst. Unser Autor erklärt, warum wir nicht mit mehr Schulden mehr soziale Gerechtigkeit schaffen werden.

TEXT **PHILIP MADER**

Etwa seit Anfang der 1980er-Jahre sind Kleinstkredite von bis zu ein paar Hundert Euro in Entwicklungsländern, oft für Kleinunternehmer im informellen Sektor, als Mikrokredite bekannt; 2013 jährt sich nun die Gründung der legendären Grameen Bank zum dreißigsten Mal. Sie wurde 2006 einer größeren Öffentlichkeit bekannt, als ihr Gründer Muhammad Yunus mit dem Friedensnobelpreis ausgezeichnet wurde. Nicht zuletzt dank großzügiger Förderung durch die öffentliche Hand sind Mikrokredite heute eines der beliebtesten und bekanntesten Instrumente im Bereich der wirtschaftlichen Zusammenarbeit und Entwicklung. Sie bilden aber auch immer mehr einen eigenen Finanzmarkt, der das Interesse großer Investoren wie George Soros oder Bill Gates geweckt hat.

> Mikrokredite haben weltweit das Interesse finanzstarker Investoren geweckt

Waren es im Jahr 2001 nur knapp drei Milliarden Dollar, wurden 2011 fast 90 Milliarden Dollar Kredite an mehr als 200 Millionen Männer und Frauen weltweit vergeben. Der Mikrofinanzsektor ist rasant gewachsen und hat dabei immer mehr Menschen im „globalen Süden“ – wie man die Gruppe der Entwicklungs- und Schwellenländer bezeichnet – als Schuldner rekrutieren können. Mikrokredite sollen, so heißt es, Frauen helfen, sich zu emanzipieren, indem sie ihnen ein unabhängiges Einkommen ermöglichen. Zudem sollen sie lokale Entwicklungsimpulse geben. Zwar werden unter dem Sammelbegriff Mikrofinanz auch andere Dienste angeboten – wie Versicherungen und Spardienstleistungen –, doch der Schwerpunkt liegt weiterhin auf Krediten. Diese werden zumeist in wöchentlichen Raten in weniger als einem Jahr zurückgezahlt, zu durchschnittlichen Zinsen von rund 27 Prozent.

Die Mikrofinanzindustrie arbeitet transnational, ist immer enger mit den traditionellen Finanzmärkten verwoben und bringt Kapital von Geberorganisationen und Investoren in die entlegensten Winkel der Weltwirtschaft. Doch leider stehen den entwicklungspolitischen Hoffnungen, die in sie gesetzt werden, bis heute keine nachhaltigen Veränderungen im Sinne der Armutsreduktion gegenüber. Eine Reihe von groß angelegten Studien konnte in den letzten Jahren keine Verbesserungen der Lebensumstände und sogar nur geringfügig mehr Unternehmertätigkeit der Armen nachweisen. Die Armen arbeiten demnach zwar etwas härter, verdienen aber nicht mehr, wenn sie einen Mikrokredit haben. >

Foto: FreeLens Pool



Schicksal besiegelt: Per Daumendruck unterzeichnen Frauen in Indien ihren Kreditvertrag.

Die Probleme liegen auf der Hand: Selbst wenn Mikrokredite ausschließlich in unternehmerische Projekte investiert würden, bedeutete die Schaffung vieler neuer Kleinstbetriebe noch lange keine wirtschaftliche Entwicklung. Eher ist es die Fortsetzung und der Ausbau jener Basarwirtschaft, die schon heute bestenfalls eine Notlösung für Leute darstellt, die sonst gar keine Arbeit hätten. Zudem wird die Mehrheit der Kredite gar nicht für Unternehmertum eingesetzt, sondern für den Konsum, um das tägliche Überleben und Ausnahmesituationen wie Krankheitsfälle zu bewältigen. Dass es so schwerer fällt, das Geld für Tilgung und Zinszahlung zu erwirtschaften, liegt auf der Hand.

> Die Schaffung vieler neuer Kleinstbetriebe bedeutet noch lange keine wirtschaftliche Entwicklung

Woher also rührten die entwicklungspolitischen Hoffnungen? Zeitungsleser werden die erbauenden Geschichten von Kleinunternehmerinnen (etwa drei Viertel der Kreditnehmer sind Frauen) und Kleinunternehmern kennen, die sich dank eines Minikredits zwar nicht gleich zu Millionären hocharbeiten, aber immerhin aus der Perspektivlosigkeit befreien konnten und als Betreiber von Garküchen oder Bauchläden mit ihren Einkünften für ihre Familien sorgen. Diese Berichte, beispielsweise aus Nigeria oder Bolivien, haben die öffentliche Wahrnehmung der Mikrofinanz als einer Art Wundermittel im Kampf gegen die Armut geprägt.

In der Summe bilden die Geschichten ein Narrativ, demzufolge es armen Menschen nicht vorwiegend an unternehmerischen Fähigkeiten, Bildung, Wohlstand oder öffentlicher Versorgung fehle, sondern vor allem an Zugang zu Kapital, um ihr Potenzial zu entfalten. Tatsächlich wird von der Mikrofinanzindustrie und ihren Anhängern die Armut als Problem interpretiert, das am besten grenzüberschreitend mit den Mitteln des Finanzmarkts zu lösen sei. Viele Geberorganisationen verabschiedeten sich in jüngeren Jahren sogar ausdrücklich von dem Ziel, vorwiegend Unternehmer zu fördern, um stattdessen ein umfassenderes Programm der „finanziellen Inklusion“ zu verfolgen. Nicht nur Unternehmer, sondern alle Armen sollten sich künftig in allen Situationen, vom spontanen Krankheitsfall in der Familie bis hin zur Mitgift für die Tochter, durch die Mikrofinanzindustrie mit Finanzmitteln versorgen können und so besser mit den Problemen ihrer Armut zurechtkommen.

Bemerkenswert ist, wie mobilisierend dieses Narrativ auf Geber und Investoren wirkt, die eingeladen werden, Teil des Erfolgsrezepts zu sein. Wenn Kapitalbesitzer in reichen Ländern in Mikrofinanzorganisationen investieren, könnten sie in Afrika oder Asien kleine Wirtschaftswunder ermöglichen und dabei sogar Rendite erzielen, heißt es. Mikrokredite bedienen damit die in den letzten Jahren verstärkte Nachfrage bei Anlegern nach „sozialen Investments“. Das Idealistische – aber zugleich zutiefst Marktradikale – an diesem Narrativ der Hilfe durch den Finanzmarkt ist, dass niemand mit Almosen abgespeist werden soll, sondern lediglich eine Handelsbeziehung aufgebaut wird, die vermeintlich beiden nutzt. Der eine zahlt für ein bisschen Hoffnung, der Armut zu entkommen, der andere erhält eine bescheidene Rendite. Der Investor oder Geldgeber, der die Schuldenaufnahme des Kreditnehmers ermöglicht, handelt dem Narrativ zufolge sogar moralischer als ein spendender Gutmensch, der mit Almosen den Empfänger entmündigt, hätschelt oder demotiviert.

Das ungleiche Machtverhältnis zwischen Kreditgeber und Schuldner bleibt indes unsichtbar. Das Mikrofinanzsystem baut bei genauerem Hinsehen eine Kette der Disziplinierung zwischen Kapitalbesitzern (Kreditgebern oder Investoren) und Schuldnern auf, die mit der immer direkteren Ankopplung der Mikrofinanz an die Mainstream-Finanzmärkte noch wirkungsmächtiger geworden ist. So engagieren sich Privatpersonen, Entwicklungsorganisationen oder kommerzielle Investoren heute meist über Beteiligungen oder Anleihen an speziellen Fonds, die vielfach von kommerziellen Investmentbanken betrieben werden, in der Mikrofinanzbranche. Sogar wohltätige Organisationen und staatliche Entwicklungsbanken investieren gern in solche profitorientierten Mikrofinanzinvestmentfonds, da diese kosteneffizient arbeiten und ihnen die Suche nach geeigneten Investitionszielen erleichtern.

Die Fonds, meist mit Sitz in Europa, den USA oder diversen Steueroasen, verlangen möglichst geringe Kreditausfälle und ausreichend hohe, regelmäßige Einnahmen. Mikrofinanzinstitute müssen daher auf regelmäßige und hohe Zahlungen an die Geldgeber



achten und setzen dabei auf scharfe Kontrollen und auf Anreizsysteme. Selbst die übliche wöchentliche Kreditrückzahlung durch die Schuldner statt einer monatlichen bildet einen wichtigen Kontrollmechanismus, da eine schwindende Zahlungsmoral schnell erkannt werden kann. Die Kreditsachbearbeiter erhalten außerdem als Anreiz meist den Großteil ihres Gehalts in Form leistungsabhängiger Boni, die an das Volumen der Kredite und ihrer Rückzahlung gekoppelt sind, sodass sie diese selbst nach Naturkatastrophen oder Seuchenausbrüchen weiter eintreiben.

Die meisten Mikrofinanzangestellten sind Männer, die meisten Kreditnehmer Frauen. Schon die erste Säumigkeit wird oft bestraft: So werden zum Beispiel alle Mitglieder der Kreditnehmergruppe am Treffpunkt festgehalten, bis die eine säumige Frau Geld aufgetrieben hat – das kann bis zu vierzig Familien den Tageslohn kosten. Die Gruppen achten deswegen genau auf das Verhalten ihrer Mitglieder und sanktionieren Zahlungsverweigerung ihrerseits mit sozialer Ächtung, die oft schwerer wiegt als finanzielle Einbußen; die Gruppen pfänden sozusagen das „soziale Kapital", das die Armen als Sicherheit für ihre Schulden einbringen. In traditionellen Gesellschaften wie Bangladesch ist das öffentliche Demütigen von Frauen als Druckmittel beispielsweise sehr effektiv. Im schlimmsten Falle veranlassen Gruppenmitglieder sogar, oft vom *loan officer* dazu angetrieben, dass die Häuser abgerissen oder die Kinder entführt werden. Von innerfamiliärer Gewalt über Flucht bis hin zu Selbstmord reichen die Folgen, weil sich Menschen in die Enge getrieben fühlen.

„Aktive Disziplinierung" oder reale Gewaltanwendung sind dennoch eher die Ausnahme, denn in dieser Kette des Überwachens und Strafens gilt es für die Akteure, ihr eigenes Haus sprichwörtlich in Ordnung zu halten, um negative Konsequenzen zu vermeiden. Und die Struktur des Mikrofinanzsystems veranlasst die letzten Glieder in der Kette ohnehin, Selbstdisziplinierung im Interesse der Kapitalgeber zu betreiben. So stellten Forscher bei einer Untersuchung in Indien fest, dass Kreditnehmer ihre kleinen „Luxusausgaben" wie Tee und Essen außerhalb des Hauses reduzierten oder Überbrückungskredite aufnahmen und so in Regionen mit hoher Mikrofinanzsättigung das Geschäft traditioneller Kredithaie wieder boomt. Es überrascht kaum, dass Kreditnehmer in weiteren Studien berichten, unglücklicher zu sein als Leute ohne Kredit.

Obwohl die Armut an sich nicht eingedämmt wird, ergibt sich aufgrund dieser Disziplin eine durchaus nennenswerte Mehrwertabschöpfung von der armen Bevölkerung. Effektiv bildet das Mikrofinanzsystem neue Kapital-Arbeit-Beziehungen, deren Nutzen für die Armen unklar, für die Finanzindustrie aber nachweislich positiv ist. Zinssätze von mehr als 100 Prozent sind keine Seltenheit bei Mikrokrediten, insbesondere unter den wirtschaftlich erfolgreicheren Mikrofinanzbanken. Der mexikanische Branchenführer Compartamos Banco, der an der Börse notiert, erhebt sogar Jahreszinssätze von bis zu 195 Prozent. Trotz der hohen Kosten, die bei der Verwaltung der beratungsintensiven Kredite entstehen, sind auf diese Weise sehr hohe Gewinne möglich, die von den Schuldnern aus den Erträgen ihrer Arbeit bezahlt werden.

Aus Daten über die Größe der Kreditportfolios sowie der Bruttoerträge errechnen sich Gesamteinkünfte der Mikrofinanzbanken für das Jahr 2010 von beinahe 19,6 Milliarden US-Dollar; damit leisteten die Mikrokreditnehmerinnen und -nehmer mehr, um die Zinsen ihrer Kredite zu bezahlen, als vergleichsweise der griechische Staat mit 16,6 Milliarden Dollar im selben Jahr für seinen Schuldendienst aufbrachte. Zugleich wird deutlich, welch „systemrelevantes Ausmaß die Mikrofinanz inzwischen erreicht hat. In diesem Zusammenhang entpuppt sie sich trotz ihres Versprechens, Entwicklungshilfe für die Armen zu leisten, als ein Instrument zur „Finanzialisierung" von Armut. Denn Mikrokredite machen jene Tätigkeiten, die arme Menschen im globalen Süden verrichten, um zu überleben, für Finanzmärkte und Finanzmarktakteure zugänglich und bisweilen sogar interessant beziehungsweise profitabel.

Säumigkeit wird sofort bestraft, Kreditnehmergruppen reagieren mit sozialer Ächtung

Dies alles – positive Narrative, Disziplinierung und erfolgreiche Abschöpfung von Mehrarbeit – bleibt eine Analyse des Regelfalls. Doch das System der Mikrofinanz ist kein stabiler Monolith, wie eine bemerkenswerte Häufung von Krisen in den letzten Jahren zeigt – Bolivien 2000, Nicaragua, Bosnien-Herzegowina, Pakistan und Marokko 2008, Indien 2010 –, die von der Mikrofinanzindustrie, jede für sich genom-

Foto: FreeLens Pool



men, als Betriebsunfälle oder illegitime Eingriffe der Politik verstanden wurden. In der Summe jedoch lassen sie erkennen, dass die Branche unter dem Gewicht des Erfolgs beim Verkauf von Schulden immer wieder an die Grenzen der Belastbarkeit ihrer Kunden stößt und dann kollabiert.

Der Fall Indien belegt den Prozess anschaulich. Der Subkontinent galt als Spätzünder mit einem schier unendlichen Marktpotenzial an noch nicht erreichten Kunden. Insbesondere der südliche Bundesstaat Andhra Pradesh, Musterregion der Strukturreformen der 1990er-Jahre, wurde von Investoren als „Mikrofinanz-Mekka" hochgelobt. Viele der hier um die Jahrtausendwende mit Hilfsgeldern gegründeten Nichtregierungsorganisationen wurden binnen weniger Jahre als profitorientierte Institute privatisiert und jagten Investorenkapital, mit dem sie jährliche Wachstumsraten von teilweise mehr als 100 Prozent finanzierten. Dieses Wachstum erfolgte um den Preis einer stetigen Aushöhlung der Verleihstandards: Immer mehr Kredite wurden nur zur Abzahlung eines anderen ausgegeben und Hunderte Kunden an nur einen Mitarbeiter überantwortet, zudem wurden viele Kreditnehmergruppen einfach aus dem staatlichen Selbsthilfegruppensystem „geklaut" und doppelt beliehen. Egal – Andhra Pradesh galt weltweit als *das* Modell, wie man mit privatem Investorenkapital trotz harter Konkurrenz im Mikrofinanzmarkt die volle „finanzielle Inklusion" einer ganzen Bevölkerung binnen weniger Jahre erreicht.

Das Wachstum profitorientierter Institute erfolgt um den Preis einer Aushöhlung der Verleihstandards

Der Crash ereignete sich auf dem Höhepunkt der Euphorie: drei Monate nachdem das größte Institut, SKS Microfinance, unter viel Applaus an die Börse gegangen war und SKS-Gründer Vikram Akula sich mit 60 Millionen Dollar für seine Dienste an den Armen schadlos hielt. Unter zahllosen Berichten über Gewalt und Ausbeutung kam es im Frühherbst 2010 zu einer Welle von Selbstmorden in Andhra Pradesh. Es waren in einigen Fällen die Kreditsachbearbeiter selbst, die Kunden in den Tod trieben, damit die Bank die verpflichtend mitverkauften Kreditlebensversicherungen kassieren konnte. Die Regierung von Andhra Pradesh stoppte kurzerhand per Dekret alle Mikrofinanzgeschäfte, was mit einem Aufschrei von Banken und Investoren quittiert wurde und dem Vorwurf, sie interveniere nur, um ihr staatliches Selbsthilfekreditsystem gegen die überlegene Konkurrenz zu schützen.

Obwohl diese Einschätzung nicht gänzlich falsch war, offenbarte sie deutlich, wie sehr die Mikrofinanzindustrie Indiens auf den Erhalt ihres Geschäftsmodells fokussiert war, koste, es was es wolle. Das Argument der Banken, viele der toten Schuldner seien gar nicht bei ihnen, sondern nur bei der Konkurrenz im Verzug gewesen, belegt viel eher den Erfolg ihrer Praktiken zur Geldeintreibung als die Sinnhaftigkeit ihres Geschäftsmodells. Denn wie sich herausstellte, hatte die Mehrheit der Haushalte in Andhra Pradesh vier Kredite oder mehr aufgenommen und abzubezahlen. Damit war man weit über das Ziel der finanziellen Inklusion hinausgeschossen; der Anteil der Kredite von Mikrofinanzbanken war zuletzt am stärksten gestiegen.

Seit 2010 stagniert das Mikrofinanzgeschäft in ganz Indien, in Andhra Pradesh ist es fast gänzlich zum Erliegen gekommen. Es liegt nahe, dass die Industrie ihren eigenen Untergang nur schwer verstehen kann, denn sie befolgte genauestens die Regeln der finanzialisierten – das heißt: von mildtätigen Geldgebern abgekoppelten und den Gesetzen des Finanzmarkts untergeordneten – Mikrofinanz: Nachfrage bedienen, Wachstum anstreben, Investoren anlocken, Effizienz erzielen, hart konkurrieren, Profite erwirtschaften, effizienter werden, weiterwachsen und so fort. Doch waren es genau diese Faktoren, die die Krise auslösten. Statt eines Spielballs der Politik ist eher das Bild einer Finanzindustrie zu zeichnen, die gerade durch ihre vermeintlichen Erfolge ihren eigenen Untergang herbeiführte. So war die Nachfrage, auf die sie reagierte, meistens nicht unternehmerischen Chancen zu verdanken, sondern, ganz im Gegenteil, der Chancenlosigkeit und Verzweiflung der Bäuerinnen und Bauern, der Arbeitslosen und Slumbewohner besonders im neoliberalen Vorreiterland Andhra Pradesh. Ein Großteil der Nachfrage galt lediglich der Refinanzierung bestehender Kredite. Konkurrenz und Kapitalschwemme waren keine marktbereinigenden Kräfte, sondern Verstärker der Anreize, stets großzügiger zu verleihen, interne Kontrollen auszuhöhlen und letztendlich die Kunden in Schuldenfallen zu treiben.

Foto: FreeLens Pool

Bei einer Beurteilung der Mikrofinanz geht es abschließend also um die Frage, welche Ursachen und Wirkungen die allgemeine Ausdehnung des Finanzsektors (Finanzialisierung) in den letzten Jahrzehnten gehabt hat und wo ihre Grenzen liegen. Es lässt sich feststellen, dass Finanzmärkte und Finanzmarktakteure eine immer größere Rolle in der Erfüllung und Steuerung gesellschaftlicher Bedürfnisse spielen, von der Sicherung der Altersvorsorge und des Wohnraums – Stichwort: US-Hypothekenblase – bis hin zum Klimaschutz (Emissionshandel) und der Bereitstellung öffentlicher Güter. Auch wird erkennbar, dass gerade vermeintliche Erfolge bei der Ausdehnung von Finanzmärkten die Krisenanfälligkeit verschärfen.

Im Fall der Mikrofinanz spielten positive Narrative über die emanzipatorische Kraft von Krediten eine zentrale Rolle. Durch finanzielle Inklusion sollten arme Menschen ihre Bedürfnisse besser erfüllen können und Kapitalbesitzer ihnen dabei als Investoren und Geldgeber helfen. Das Versprechen der

Die ungleiche Vermögensverteilung verschlimmert sich tendenziell

Armutsreduktion durch den Finanzmarkt schien wahr zu werden. Doch im Widerspruch dazu blieben die positiven Wirkungen der Mikrokredite – zumindest nach dem derzeitigen Forschungsstand – in der Realität aus. Stattdessen stellt das Mikrofinanzsystem eine transnationale Kette der Disziplinierung her, die im Interesse regelmäßiger Kapitalflüsse arme Menschen dazu bringt, ihre Gürtel noch enger zu schnallen und eine nennenswerte Summe an Mehrwert aus ihrer Arbeit abzutreten. Doch Andhra Pradesh belegt, dass diesem System auch Grenzen gesetzt sind.

Insgesamt legt diese Analyse der Mikrofinanz nahe, dass Finanzmärkte die heute bestehende ungleiche Vermögensverteilung tendenziell verschlimmern – selbst dort, wo sie unter dem Vorzeichen der Armutsreduktion arbeiten. Soziale Gerechtigkeit durch Schulden schaffen zu wollen erweist sich als ein kaum zu erfüllendes Versprechen und als äußerst mangelhafter Ersatz für öffentliche Fürsorge oder umverteilende Entwicklungspolitik. ◂

DER AUTOR



Philip Mader (29) ist Wissenschaftler am Max-Planck-Institut für Gesellschaftsforschung. Er studierte Volkswirtschaft an der University of Sussex in Großbritannien; anschließend absolvierte er den Masterstudiengang „Development Studies“ an der Universität Cambridge. 2008 begann er seine Promotion am Max-Planck-Institut für Gesellschaftsforschung, ging im Frühjahr 2010 zur Feldforschung nach Andhra Pradesh und danach als Gastwissenschaftler nach Harvard. Seit 2009 ist er Koredakteur des Forschungsblogs „Governance Across Borders“. 2012 schloss er seine Promotion an der Universität zu Köln ab. Philip Mader wurde im Juni 2013 mit der Otto-Hahn-Medaille ausgezeichnet und erhält im November den Deutschen Studienpreis (1. Preis) der Körber-Stiftung in der Sektion Sozialwissenschaften.

ERSTES KRITIKERTREFFEN

Im August 2013 organisierte Philip Mader gemeinsam mit dem „Journalist in Residence“ Gerhard Klas am Max-Planck-Institut für Gesellschaftsforschung in Köln die erste Fachtagung, die kritische Stimmen im deutschsprachigen Raum zusammenbrachte. Unter dem Titel „Drei Jahrzehnte neoliberale Entwicklungspolitik und Mikrofinanz: Eine Bilanz“ bot die Tagung etwa 40 Teilnehmern Gelegenheit zu einer Bestandsaufnahme des Wachstums der Mikrofinanzindustrie im Kontext der globalen Entwicklungspolitik sowie der andauernden Krise des Kapitalismus. Die entwicklungspolitischen Praktiker, Wissenschaftler und Fachjournalisten, die dafür nach Köln kamen, evaluierten auch gemeinsam alternative Strategien der Nord-Süd-Zusammenarbeit und diskutierten Lösungsansätze: im Wesentlichen die Unterstützung lokaler Schuldnerorganisationen sowie einen (Wieder-)Aufbau von Systemen öffentlicher Daseinsvorsorge und einforderbarer Grundrechte – statt Schulden. Die Ergebnisse der Tagung fließen in ein gemeinsames Buch, das 2014 erscheinen soll.

Teilen bringt Vorteil

„Meins!" Eltern kann dieser Ausruf ihrer Sprösslinge zur Verzweiflung treiben. **Michael Tomasello** vom **Max-Planck-Institut für evolutionäre Anthropologie** in Leipzig ist nichtsdestotrotz davon überzeugt, dass Kinder von Geburt an kooperativ und hilfsbereit sind. Im Gegensatz zu unseren nächsten Verwandten, den Menschenaffen, denen die Fähigkeit zur Zusammenarbeit weitgehend fehlt.

TEXT **SEBASTIAN KIRSCHNER**

Moritz zerrt seinen Vater durch die Eingangshalle: „Da, Affe, da." Begeistert zeigt der Zweijährige auf die riesigen Affengesichter, welche die Schaukästen im Foyer des Max-Planck-Instituts für evolutionäre Anthropologie zieren. Moritz kennt sich aus. Schon dreimal hat er bei einer Verhaltensstudie der Abteilung für Psychologie mitgemacht. Jetzt kommt den beiden der heutige Studienleiter Robert Hepach entgegen und begleitet sie in das Spielzimmer im ersten Stockwerk. An der Treppe fällt Hepach der Schlüssel für das elektronische Türschloss aus der Hand. Moritz ist sofort zur Stelle, bückt sich nach der blauen Plastikscheibe und hält sie dem unbekannten Mann entgegen.

„Solche spontanen Gesten der Hilfsbereitschaft beobachten wir regelmäßig in unseren Studien", sagt Michael Tomasello, Hepachs Doktorvater und Direktor der Abteilung. Was für uns Erwachsene selbstverständlich klingt, ist für den Entwicklungspsychologen ein faszinierendes Phänomen. Seit 1998 erforscht Tomasello am Max-Planck-Institut in Leipzig die sozialen Fähigkeiten von Kindern und wie sie Sprache lernen. Seit seinem Studium beschäftigt sich der gebürtige Amerikaner mit den Ursprüngen von Verhaltensweisen. „Am meisten interessiert mich: Woher kommt ein bestimmtes Verhalten? Wie entwickelt es sich in der Kindheit, und wie ist es im Laufe der Evolution entstanden?"

Vor zwölf Jahren öffnete im Zoo Leipzig das Wolfgang-Köhler-Primatenforschungszentrum der Max-Planck-Gesellschaft. „Es gibt nur wenige Orte, an denen man experimentelle Studien mit Menschenaffen durchführen kann. Und nur im Zoo Leipzig werden alle großen Menschenaffenarten gehalten, also Schimpansen, Orang-Utans, Bonobos und Gorillas", schwärmt Tomasello. „Das ist ein großer Vorteil, denn wenn wir beispielsweise das Verhalten von Mensch und Schimpanse vergleichen, wissen wir nicht, was der ursprüngliche Zustand ist und welche der beiden Arten sich verändert hat. Untersuchen wir dagegen alle vier Affenarten und finden beispielsweise heraus, dass keine von ihnen mit Zeigegesten kommuniziert, einjährige Menschenkinder hingegen schon, so haben vermutlich erst die direkten Vorfahren des Menschen diese Geste erfunden."



Foto: istockphoto

Heute ist die Abteilung für Vergleichende und Entwicklungspsychologie die weltgrößte Forschungseinrichtung zu diesem Thema. Zweiundzwanzig Doktoranden betreut Tomasello zurzeit, zudem kooperiert er mit zwanzig Wissenschaftlern vor Ort. In ausgeklügelten Studien wollen er und seine Mitarbeiter die Besonderheiten der menschlichen Psychologie ergründen. Im Mosaik der Menschwerdung klaffen zwar noch gewaltige Lücken, doch fügen die Psychologen und Biologen mit jährlich rund hundert Publikationen immer neue Steine in das Gesamtbild ein.

In seinem neuesten Buch „A Natural History of Human Thinking“, das Anfang 2014 erscheinen wird, erklärt Tomasello, dass die einzigartigen geistigen Fähigkeiten des Menschen entstanden, als sich die Umweltbedingungen in Afrika änderten. Unsere Vorfahren konnten dann nur durch Zusammenarbeit bei der Nahrungssuche überleben. >

Kinder sind geborene Helfer. Sie besitzen eine ausgeprägte Neigung zur Hilfsbereitschaft, lange bevor sie dazu angehalten werden.



Kooperation ist eine menschliche Spezialität: Kein anderes Lebewesen setzt so auf Zusammenarbeit und verzichtet zugunsten anderer auf einen unmittelbaren Vorteil. Unsere nächsten Verwandten beispielsweise, die Schimpansen, geben Artgenossen nur selten etwas von ihrer Beute ab.

„Im Gegensatz zu Menschenaffen, die meistens einzeln auf Futtersuche gehen und gefundenes Fressen stets vor Ort verspeisen, jagen Menschen gemeinsam und bringen ihre Beute zu einem zentralen Sammelplatz, wo sie dann verteilt wird", sagt Tomasello.

Die einzige Ausnahme sind Schimpansen, die manchmal in Gruppen Stummelaffen jagen. Trotzdem balgen sie sich anschließend um die Beute. Jeder nimmt, was er kriegen kann. Manche Wissenschaftler bezeichnen dies als Teilen (siehe Biomax 29). „Ich glaube aber, dass die Beute einfach zu groß ist, um von einem einzigen Tier allein beansprucht zu werden. Deshalb duldet der Fänger, dass sich auch andere Affen etwas nehmen. Aber wie man teilt, wissen Schimpansen nicht."

WER LEER AUSGEHT, HILFT NICHT MEHR

Tomasello schließt dies aus Studien am Zoo Leipzig, wonach zwei Schimpansen nicht mehr kooperieren, sobald die Belohnung auf einem Haufen in der Mitte liegt. Dann nämlich greift sich der dominante Affe alles, das untergeordnete Tier geht leer aus und verweigert fortan die Mitarbeit. Kinder hingegen teilen sich in vergleichbaren Studien die Belohnung.

Tomasello glaubt, dass schon für den letzten gemeinsamen Vorfahren von modernem Menschen und Neandertaler vor über 500 000 Jahren der Erfolg der gemeinsamen Jagd von vertrauenswürdigen Partnern und einer guten Koordination untereinander abhing: Alle erfüllten ihre Aufgabe, waren aufeinander angewiesen und profitierten am Ende von der Zusammenarbeit, denn jeder erhielt einen gerechten Anteil an der Beute. Deshalb bezeichnet Tomasello sein evolutionäres Szenario als Interdependenz-Hypothese. In der lebensnotwendigen kooperativen Nahrungssuche sieht er den Ursprung vieler typisch menschlicher Verhaltensmuster: unseren Enthusiasmus beim Verfolgen gemeinsamer Ziele; unsere Bereitschaft, Wissen freimütig weiterzugeben; unseren Impuls, Notleidenden zu helfen, oder unsere Neigung, Ressourcen gerecht aufzuteilen.

All diese Verhaltensmuster konnten Tomasellos Mitarbeiter schon bei kleinen Kindern beobachten. „Der Vergleich von Affen und Kleinkindern ist deshalb so interessant, weil Kinder unter drei Jahren noch nicht nach den sozialen Normen und moralischen Regeln ihrer Kultur handeln." In mehreren Studien konnten Tomasellos Mitarbeiter zeigen, dass Kinder erst im vierten Lebensjahr den Umgang mit Normen und Regeln erlernen, indem sie zum Beispiel bei Verstößen protestieren oder sich gegenseitig ermahnen. „Und dennoch erleben wir unsere jungen Studienteilnehmer als kooperativ, mitteilungsbedürftig und hilfsbereit." Tomasello ist überzeugt, dass die bei Kleinkindern sichtbaren Kooperationsformen zu einem großen Teil die frühesten kollektiven Aktivitäten der Menschheitsgeschichte widerspiegeln.

Das Leipziger Psychologenteam konnte zeigen, dass Kleinkinder von sich

Foto: Harvard Universität – Felix Warneken

» Kinder helfen nicht nur, weil es von ihnen erwartet wird – sie wollen andere Menschen unterstützen.

aus anderen helfen wollen: Sie räumen Hindernisse aus dem Weg, heben heruntergefallene Stifte auf oder zeigen auf gesuchte Gegenstände. Nur: Warum haben schon Zweijährige diesen Impuls zu helfen? Fühlen sie mit, und wollen sie, dass der Betroffene aus seiner misslichen Lage herauskommt? Oder wollen sie vielleicht nur bei ihren Eltern Punkte sammeln?

Um mehr über die Motive der kleinen Helfer zu erfahren, haben die Wissenschaftler eine neue Technik benutzt: Zweijährige Kinder beobachteten, auf dem Schoß der Mutter sitzend, wie Robert Hepach auf einem Tisch Dosen zu einem Turm stapelte. Als ihm die letzte Dose vom Tisch fiel, versuchte er sie vergeblich zu erreichen. Einige Kinder durften jetzt helfen: Fast alle hoben die Dose auf und gaben sie dem Studienleiter zurück. Die Mütter einer zweiten Gruppe sollten dagegen ihre Kinder zurückhalten, falls diese nach der Dose greifen. Kinder einer dritten Gruppe durften ebenfalls nicht helfen, stattdessen kam ein zweiter Erwachsener dem Studienleiter vor den Augen des Kindes zu Hilfe.

Währenddessen erfasste eine versteckte Kamera die Pupillenweite der Kinder. „Sie ist ein guter Indikator für den Erregungszustand: Je aufgewühlter ein Mensch ist, desto stärker weiten sich seine Pupillen“, erklärt Hepach. Die Wissenschaftler verglichen die Pupillenweite direkt nach dem Missgeschick und nach der erfolgten oder unterbliebenen Hilfsaktion der Kinder. Helfende Kinder sind demnach emotional weniger aufgewühlt als Kinder, die nicht selbst einschreiten durften, denn bei ihnen war die Pupillenweitung wieder deutlich zurückgegangen. Derselbe Effekt trat auch bei den Kindern der dritten Gruppe auf: Sie beruhigten sich, wenn die dritte Person einschritt. „Kinder brauchen also gar nicht selber helfend einzugreifen, die Hilfe an sich – und sei es von Fremden – ist entscheidend. Das zeigt, dass die frühkindliche Hilfsbereitschaft nicht nur eine Reaktion auf die Erwartungshaltung der Eltern ist, sondern tatsächlich das Wohlergehen anderer Menschen zum Ziel hat“, folgert Hepach.

NUR GEMEINSAM ANS ZIEL

Einen Sinn für Zusammenarbeit besitzen schon Säuglinge. Amerikanische Wissenschaftler haben beobachtet, dass sechs Monate alte Babys Mitmenschen danach beurteilen, ob sie anderen helfen oder nicht. Sie bevorzugen demzufolge hilfsbereite Personen gegenüber Menschen, die nicht helfen oder gar Schaden zufügen – ein weiteres Indiz dafür, dass Hilfsbereitschaft nicht nur angelernt, sondern auch angeboren ist. >

Kinder wollen helfen und reagieren positiv auf Menschen, die helfen: Schon Zweijährige heben eine Dose auf, die dem Studienleiter vom Tisch gefallen ist (links, Mitte). Dabei wollen sie offenbar nicht nur ihrer Mutter gefallen. Sie sind auch zufrieden, wenn eine andere Person einspringt und die Dose aufhebt, während sie dieselbe Szene nur beobachten (rechts).







Fotos: Nina Lüth (3)

» Die Entstehung von Moral lässt sich nur mit dem Leben in Gruppen erklären. Es sei denn, man glaubt an Gott.

Im Alter von drei Jahren entwickeln Kinder dann immer mehr einen Sinn für soziale Verhaltensregeln, zum Beispiel ein Gefühl dafür, dass bei einer Unternehmung die Partner sich gegenseitig helfen sollten. Katharina Hamann hat in ihrer Doktorarbeit untersucht, wie weit sich zwei Kinder unterstützen, wenn sie eine Aufgabe gemeinsam lösen müssen. Um an zwei begehrte Spielsteine zu gelangen, mussten zwei dreijährige Kinder eine mehrstufige Apparatur gemeinsam bedienen. Eines der Kinder erreichte seinen Stein allerdings früher als das andere und hätte nun die Zusammenarbeit abbrechen können. „Tatsächlich blieben viele Kinder bei ihrem Spielkameraden und halfen ihm, auch an sein Ziel zu gelangen", sagt Hamann.

War die Apparatur hingegen so eingestellt, dass nur ein Kind auf Kooperation angewiesen war, das andere aber seinen Spielstein sofort entnehmen konnte, fiel die spontane Hilfsbereitschaft deutlich geringer aus. „Kinder empfinden offensichtlich eine stärkere Verpflichtung dem Partner gegenüber, wenn sie sich gemeinsam angestrengt haben", vermutet Hamann.

Dreijährige spüren also, dass die Zusammenarbeit erst beendet ist, wenn alle ihr zuvor vereinbartes Ziel erreicht haben. Michael Tomasello ergänzt: „Im Tierreich gibt es viele Beispiele für prosoziales Verhalten. Auch Schimpansen zeigen sich in unseren Studien hilfsbereit. Das Einzigartige an der menschlichen Moral ist das Gefühl von gegenseitiger Verbindlichkeit: Wir sollten uns so verhalten." Entstanden sind moralische Werte seiner Ansicht nach als Reaktion auf ein immer komplexeres Sozialleben. „Unter Moral fassen wir mehrere psychologische Mechanismen zusammen, die Menschen in Anpassung an ihre hyperkooperative Lebensweise entwickelt haben. Die Gruppe ist der einzige Ort, an dem Moral entstehen kann. Es sei denn, man glaubt an Gott."

SELBSTKONTROLLE DURCH SCHLECHTES GEWISSEN

Dies zeigt Tomasello am Beispiel des schlechten Gewissens. „Ich fühle mich nicht deshalb schlecht, weil die anderen meinen Diebstahl verurteilen, sondern weil wir mich verurteilen! Ich bin Teil der Gruppe und müsste mich selbst bestrafen." Ein schlechtes Gewissen ist also eine Art unwillkürliche Selbstgeißelung, um sich vor weiteren unerlaubten Handlungen zu bewahren und damit Sanktionen zu entgehen. Sobald ein Dieb erwischt wird, zeigt er offen seine Schuldgefühle – laut Tomasello wieder eine Anpassung an das Gruppenleben nach dem Motto: „Schaut, ich kenne die Regeln und weiss, dass ich ihnen folgen sollte. Ich bestrafe mich bereits selbst." Das soll zeigen, dass er immer noch ein kooperatives Gruppenmitglied ist.

Die Sorge um das eigene Ansehen ist typisch menschlich. Für Tomasello hat auch sie ihren Ursprung in der Kooperation bei der Nahrungssuche. Je mehr unsere Vorfahren auf Zusammenarbeit bei der Jagd angewiesen waren, desto wichtiger wurde für jeden Einzelnen der Ruf, ein guter Kooperationspartner zu sein: „Seht, ich bin ein geschickter Jäger und teile gern meine Beute. Nehmt mich mit, wenn ihr morgen wieder ein Zebra jagen geht."

Schon Kindergartenkinder betreiben strategisches Reputationsmanagement, Schimpansen dagegen nicht. Zu diesem Ergebnis kam eine Studie von Jan Engelmann. Er untersuchte, ob sich Schimpansen und fünfjährige Kinder anders verhalten, wenn ihnen jemand zusieht. „Schimpansen geben einem anderen Schimpansen immer gleich viel Futter ab oder stehlen es, egal, ob sie ein Alphatier dabei beobachtet oder nicht", sagt Engelmann, „Kinder hingegen scheinen sich um ihren Ruf Gedanken zu machen."

Der Psychologe hatte sich für die Fünfjährigen eine Aufgabe ausgedacht, die zum Stehlen geradezu verleitete: Die Kinder erhielten verschiedene Aufkleber, die sie in eine Art Stickeralbum ein-





Bei dieser Verhaltensstudie haben die Kinder nur zusammen Erfolg. Gemeinsam müssen sie ihre Spielsteine mit einer Stange die Treppe hinaufschieben (links). Selbst wenn eines der Kinder seinen Stein früher aus der Öffnung in der Abdeckung ziehen kann, hilft es weiter mit, so lange, bis auch das andere seinen Spielstein entnehmen kann (rechts).

Fotos: Nina Lüth (2)



Die Fähigkeit zur Zusammenarbeit ist für Michael Tomasello der Schlüssel für den evolutionären Erfolg des Menschen. Schon die Vorfahren von *Homo sapiens* jagten gemeinsam und teilten sich anschließend die Beute. Dadurch waren sie allen anderen Konkurrenten überlegen und konnten sich weltweit ausbreiten.

Foto: Jordi Play

kleben sollten. Ein Sticker für das Album fehlte jedoch. Auf der anderen Seite des Tisches lagen ein leeres Album sowie mehrere unbenutzte Aufkleber für das nächste Kind. „Nachdem der Versuchsleiter den Raum verlassen hatte, verfolgten wir über eine versteckte Kamera, ob sich das Kind einen Aufkleber von der gegenüberliegenden Seite nimmt."

AUF EINEN GUTEN RUF BEDACHT

Ein Teil der jungen Probanden war allein im Raum, die anderen wurden von einem gleichaltrigen Kind beobachtet. Das Ergebnis war eindeutig: Die Kinder nahmen sich seltener die unerlaubten Sticker, wenn ihnen jemand zusah. Um die Hilfsbereitschaft zu prüfen, drehte Engelmann die Verhältnisse um: Er gab einen überzähligen Aufkleber aus und erklärte, dass auf der gegenüberliegenden Seite einer fehle. „Mit Zuschauer ließen mehr Kinder den überflüssigen Aufkleber für das nächste Kind liegen, statt ihn mit nach Hause zu nehmen."

Der Forscher hat zudem nachgewiesen, dass Fünfjährige dabei überlegt vorgehen und einen guten Ruf bei Angehörigen ihrer eigenen Gruppe höher bewerten: Sie teilten bereitwilliger, wenn ihnen ein Kind aus der eigenen Gruppe zusah. „Dies deutet auf strategisches Denken hin: Kinder aus der eigenen Gruppe sind wichtiger, da ich in Zukunft eher ihre Hilfe brauchen könnte. Deshalb handle ich in ihrer Gegenwart moralisch einwandfrei und teile meine Sticker fair auf", vermutet Engelmann.

Menschen verfügen über ein ganzes Arsenal psychologischer Mechanismen, um Kooperation in größeren Gruppen aufrechtzuerhalten: einen Sinn für das persönliche Ansehen, ein Gefühl für Fairness, eine Aversion Betrügern gegenüber sowie einen Hang zum Konformismus. Wann in unserer Evolutionsgeschichte wurden diese Mechanismen notwendig? Nach Tomasellos Theorie sind diese Eigenschaften bereits mit dem Auftauchen der ersten modernen Menschen vor circa 150 000 Jahren entstanden. Ein Bevölkerungswachstum sowie zunehmende Konkurrenz um Lebensraum und Nahrung zwischen Gruppen erforderte eine immer engere Zusammenarbeit.

Verwandte Gruppen verschmolzen zu einem Klan, mehrere Klans fühlten sich zu einem Volksstamm gehörig. Das Leben in solch großen Gesellschaften stellte unsere Vorfahren vor ganz neue Herausforderungen: Sie kannten nicht mehr alle Mitglieder ihrer Gruppe persönlich. Immer wieder begegneten sie Fremden, die zwar zum eigenen Stamm gehörten, deren Ruf und Kooperationsfähigkeit sie aber nicht einschätzen konnten.

BETRÜGER GEFÄHRDEN ZUSAMMENLEBEN

Sie lösten dieses Problem, indem sie Kennzeichen für die Zugehörigkeit zu einer Gruppe hervorhoben: „Der Fremde spricht meine Sprache, kleidet sich wie ich und kocht nach denselben Rezepten – ich kann davon ausgehen, dass er den gleichen sozialen Normen und Werten folgt wie ich", beschreibt Tomasello ein mögliches Szenario. In größeren anonymen Gesellschaften war das Zusammenleben zudem durch Betrüger und Trittbrettfahrer gefährdet. Viele unserer moralischen Werte dienen dazu, genau diese Bedrohung einzudämmen: Wir halten unser Wort. Wir bestrafen Diebe. Wir leisten unseren Beitrag. Wir ächten Faulpelze.

Tomasello und seine Mitarbeiter konnten zeigen, dass Kinder ihre Mo-







Auch Weltentdecker wollen in ihrer Gemeinschaft gut dastehen (links): Aufkleber für ein Stickeralbum teilen Kinder eher, wenn ihnen ein Mitglied der eigenen Gruppe zusieht (rechts oben), als wenn sie ein Kind aus einer anderen Gruppe beobachtet (rechts unten).

ralvorstellungen in zwei Phasen entwickeln. Viele altruistische Tendenzen bringen Kleinkinder von Natur aus mit. Sie helfen, teilen und kooperieren mit ihrem Gegenüber, lange bevor sie einen Sinn für die Gesellschaft entwickeln. „Wahrscheinlich würden wir bei Kindern sämtlicher Kulturkreise dieselbe angeborene Kooperationsbereitschaft messen können", prophezeit Tomasello.

SINN FÜR GEMEINSCHAFT

Ab dem vierten Lebensjahr entwickeln Kinder ein erweitertes Wirgefühl: ein Wir, das nicht nur den gegenwärtigen Spielpartner einschließt, sondern ein Wir, das alle Kinder der Kindergartengruppe, alle Menschen im Dorf, alle Mitglieder der Gesellschaft umfasst. Sie betrachten ihr Verhalten und das der anderen immer öfter aus der Vogelperspektive, richten sich nach den Konventionen ihrer Kultur und übernehmen moralische Werte: Wir tun einander nicht weh. Wir halten unser Versprechen. Wir lügen nicht. Wir teilen gerecht.

„Solche Moralvorstellungen könnten sich zwischen verschiedenen Kulturen durchaus unterscheiden. Diese Unterschiede entstehen in Anpassung an die jeweilige Lebensweise", vermutet Tomasello. Eine neue Arbeitsgruppe soll diese Hypothese überprüfen und das Verhalten von Kindern aus verschiedenen afrikanischen Volksgruppen miteinander vergleichen, wie der Samburu, halbnomadischen Viehhirten aus dem Norden Kenias. Dann wird sich zeigen, welche Moralvorstellungen angeboren und welche erlernt sind. Eins ist für Tomasello aber schon jetzt klar: Auch die Samburu-Kinder sind von Natur aus hilfsbereit. ◂

AUF DEN PUNKT GEBRACHT

- **Schon Säuglinge teilen bereitwillig und verhalten sich anderen gegenüber hilfsbereit. Offenbar besitzt der Mensch eine angeborene Neigung zur Kooperation.**
- **Die heute bei Kleinkindern sichtbaren Formen von Zusammenarbeit sind vermutlich ein Abbild der frühesten kollektiven Aktivitäten der Menschheitsgeschichte: Vor über 500 000 Jahren sicherte eine effektive Zusammenarbeit bei der Nahrungssuche das Überleben und gab den entscheidenden Anstoß zur Entwicklung der einzigartigen geistigen Fähigkeiten und des inneren Antriebs des Menschen.**
- **Ab dem vierten Lebensjahr entwickeln Kinder ein Gefühl für die soziale Gruppe und übernehmen schrittweise die moralischen Werte ihrer Kultur. Der moderne Mensch entwickelte wahrscheinlich soziale Normen, um die Herausforderungen immer komplexerer Gesellschaftsstrukturen zu meistern.**



Foto: Nina Lüth



Buchstabe **für Buchstabe**

Sprechen lernen Kinder durch bloßes Nachahmen, Lesen und Schreiben können sich dagegen die wenigsten ohne Unterricht aneignen. **Sascha Schroeder** und seine Forschungsgruppe *REaD* am Berliner **Max-Planck-Institut für Bildungsforschung** untersuchen, worauf es dabei im Detail ankommt. Sie schaffen so die Basis, um Kinder mit Leseproblemen effektiv zu unterstützen.

TEXT **PETRA MIES**

Mia freute sich über ihr Geburtstagsgeschenk." Und weiter. „Tina kickte den Ball über das Spielfeld." Und weiter. „Der Hund war wütend, denn die Gans hatte ihn gebissen."

Buchstabe für Buchstabe, Wort für Wort liest Zoe die Sätze, die auf dem Bildschirm vor ihr aufleuchten. Per Klick auf den blauen Knopf des Eingabegerätes, das es in seiner rechten Hand hält, bestimmt das Mädchen selbst, wann es einen Satz beendet hat und der nächste erscheint. Dabei ruht der Kopf der Berliner Grundschülerin auf einem Gestell, das sie bisher nur vom Augenarzt kannte. Der Kopf soll sich möglichst nicht bewegen. Die Pupillen hingegen müssen es. Wohin genau Zoe beim Lesen guckt und wie sie dabei vorwärtskommt, zeichnet eine Kamera auf. Denn die Blickbewegungen sind in dem Testlabor am Berliner Max-Planck-Institut für Bildungsforschung von großem Interesse.

„Super", lobt Sascha Schroeder die Siebenjährige. „Du liest schon sehr schnell für dein Alter." Zoe strahlt und erklärt stolz: „Mir macht es auch viel Spaß." Schroeder und sein Mitarbeiter Simon Tiffin-Richards haben bei der „Longitudinal Eye-Tracking Study" auch schon ganz andere junge Probanden erlebt. Schroeder breitet die Arme aus: „Das Spektrum der Lesegeschwindigkeit ist riesig, manche Kinder sehen jedes Wort zigmal an." Zoe erledigt den auf die Dauer einer Schulstunde angelegten Test mit den 96 Sätzen und kleinen Pausen in 20 Minuten. Schwächere Schüler brauchen 80 Minuten.

JEDER FÜNFTE ERWACHSENE VERSTEHT EINFACHE TEXTE NICHT

Warum ist das so? Wie genau erlernen Kinder das Lesen? Welche Teilprozesse sind beim Schriftspracherwerb relevant? Und wie wichtig sind verbale Fähigkeiten beim Transfer vom gesprochenen Laut zum geschriebenen Buchstaben und umgekehrt? Das und mehr wollen Schroeder und seine sechsköpfige Forschungsgruppe *REaD* (Reading Education and Development – Schriftspracherwerb und Leseentwicklung) in mehreren Studien herausfinden. >

Das Lesen verinnerlichen – wie geht das vor sich? Die Buchstaben dieser Wortspielerei zumindest lassen sich aufessen...



Das Team um Sascha Schroeder widmet sich seit Mitte des vergangenen Jahres einem Thema, das in Deutschland bisher noch zu wenig untersucht wurde. Mit fatalen persönlichen und gesellschaftlichen Folgen, wie der Leiter befindet. Jeder fünfte Erwachsene in Deutschland könne einfache Texte nicht verstehen. Und davon sind keineswegs nur Menschen aus schwierigen sozialen Verhältnissen oder mit nicht-deutscher Herkunftssprache betroffen. Die Probleme finden sich in allen Schichten.

„In unserer modernen Informationsgesellschaft geraten Menschen mit geringen Lesefähigkeiten ins Abseits“, sagt Schroeder. „Das ist für Betroffene ein mit großer Scham und sozialer Isolation verbundenes Desaster. Hinzu kommt der enorme volkswirtschaftliche Schaden, denn sie finden oft keinen Zugang zur Arbeitswelt.“ Nicht zu vergessen die politische Dimension: „Das Tolle am Lesen ist doch die Aufklärung im Kleinen. Wer lesen kann, ist mündiger.“

Schroeder erkennt einen Teufelskreis. Wem das Lesen schwer fällt, der vermeide es oft. „Da ist Sand im Getriebe, es ist anstrengend, und was macht man? Nichts.“ Das Ergebnis seien sich negativ aufschaukelnde Effekte. „Dabei steht eins absolut fest: Lesen lernt man durch nichts anderes als dadurch, dass man es macht.“

Auch die schönsten Bücherecken bringen aber nichts, wenn Kinder die Kulturtechnik nicht beherrschen, urteilt der Wissenschaftler. „Wer es nicht kann, kann auch nicht partizipieren.“ Daran änderten auch die Leseförderprogramme kaum etwas, die nach den ersten PISA-Studien aufgelegt wurden. Sie sind Schroeders Meinung nach häufig wenig effektiv, da die Prozesse, auf denen das Lesen beruht, immer noch unklar sind. „Das ist unsere Grundidee: Bevor wir bei der Leseförderung weitermachen, treten wir besser einen Schritt zurück und gucken uns die kognitive Mechanik hinter dem Lesen an.“ Es gelte, abstrakt zu forschen, um es nachher im Konkreten besser zu machen.

Damit Hilfsprojekte in Zukunft wirklich fruchten, bedarf es nach der Meinung des Psychologen, Linguisten und Musikwissenschaftlers noch vieler Informationen, die hierzulande bisher

Foto: Nina Lüth

So ungefähr sehen typische Blickbewegungen beim Lesen eines Satzes bei Kindern aus.

linke Seite | Sieht aus wie beim Augenarzt: Das Eye-Tracking-Gerät verfolgt die Blickbewegungen der jungen Probanden beim Lesen und zeichnet sie auf.

oben | Leseanfänger hangeln sich von Buchstabe zu Buchstabe und vergessen schon mal am Ende eines langen Wortes, was am Anfang stand. Dann geht es wieder einen Schritt zurück, bevor mit zunehmendem Können die Sprünge nach vorn raumgreifender werden. Die Größe der Kreise zeigt an, wie lange die Augen auf Worten verharren.

fehlen. Anders sei das im englischsprachigen Raum, aber die Ergebnisse ließen sich nicht übertragen, weil die verschiedenen Sprachen sehr spezifisch verschriftlicht würden. Mithin funktioniert auch der Transfer von Schrift in gesprochene Sprache in jedem Idiom anders. So sei der orthografische Code im Englischen schwerer zu knacken als im Deutschen. Kurzum: Nur mit Basiserkenntnissen darüber, wie der Schriftspracherwerb speziell im Deutschen funktioniert, sei Kindern mit Leseschwächen künftig sinnvoll zu helfen.

Die Ausgangslage scheint klar zu sein. „Schrift ist geronnene Sprache", erklärt Schroeder. „Lesen ist die Entnahme von sprachlichen aus visuellen Informationen. Das gesprochene Wort, der Klang, verfliegt und dehnt sich zeitlich aus. Das geschriebene Wort hingegen steht fest und ist räumlich organisiert." Diese beiden Dimensionen ineinander zu überführen gehöre zu den komplexesten kulturhistorischen Leistungen. Welche Hürden es dabei zu nehmen gilt, das herauszufinden ist Kern der Arbeit von REaD.

Sprechen lernen Kinder in der Regel allein durch den Umgang mit ihren Eltern und anderen Menschen. Dem Forschungsgruppenleiter zufolge geht die aktuelle Forschung zwar davon aus, dass Kinder desto leichter lesen lernen, je besser ihre verbalen Fähigkeiten entwickelt sind. Lesen und Schreiben fliegen ihnen jedoch nicht so zu wie das Sprechen. Darin, die ihnen bekannten Sprachlaute den richtigen Buchstabenfolgen zuzuordnen, brauchen sie Unterricht. Und sie müssen oft jahrelang üben, bis sie das Regelwerk verstehen. Dass die „Biene" ein ie braucht, der „Tiger" dagegen mit dem i auskommt, das erschließt sich nicht einfach so. Sascha Schroeder verweist darauf, dass viele Menschen später vergäßen, wie schwer das Laut-Buchstaben-Rätsel für Anfänger zu lösen ist.

EIN VOR UND ZURÜCK AUF DEM WEG ZUM SATZENDE

Mühsam muss sich, wer lesen lernt, die geschriebene Welt erobern, und das geschieht sprunghaft. „Wir glauben zwar, dass sich unsere Augen schön gleichmäßig über die Zeilen bewegen, aber das stimmt nicht. Vielmehr hüpfen wir in sogenannten Sakkaden über einen Text." Zwischen den Sprüngen machten die Augen eine Pause, in der es gelte, die gelesenen Informationen zu verarbeiten. Die Stopps sind notwendig, weil nur ein überaus kleiner Teil des Sehfeldes – auch fovealer Bereich genannt – scharf genug ist, um Buchstaben und Wörter identifizieren zu können. Dieser Sichtkegel sei dabei keineswegs rund wie der Lichtstrahl einer Taschenlampe, sondern in die Leserichtung nach rechts etwas größer und weiter. Auf diese Weise ist zu erahnen, was die Augen gleich lesen werden. Im Umfeld nach links blieben die Umrisse eher verschwommen.

Von links nach rechts, von oben nach unten liest man jedoch nicht in allen Sprachen. So lesen beispielsweise Araber von rechts nach links. Daher ist es praktisch, dass das scharfe Sehfeld eines Lesers je nach der Muttersprache immer in der Richtung erweitert ist, in der ein Text weitergeht – bei Arabisch sprechenden Menschen also nach links. Alles Übungssache.

Anfänger wissen noch nichts von der Leserichtung. Sie müssen erst trainieren, dass Schrift die Sprache in Zeilen ordnet und Wörter voneinander abtrennt. Daher bewegen sie ihre Augen gleich in zweierlei Hinsicht anders über den Text als erfahrene Leser. „Kinder lesen am Anfang eher sequenziell. Sie arbeiten einen Text Buchstabe für Buchstabe ab, etwa so wie man eine Wurst in Scheiben schneidet", sagt Schroeder. „Deshalb ist anfangs auch die Wortlänge ein wichtiger Faktor."

Gerade anfangs ist der Kampf von Wort zu Wort anstrengend und zeitaufwendig, sodass Kinder den Anfang eines Wortes vergessen haben, wenn sie sein Ende erreichen. Dann müssen sie sich erst zurückorientieren und es erneut fixieren. Im Schnitt kommt es bei Kindern so zu zwei bis drei Fixationen pro Wort, wie es im Jargon der Sprachwissenschaftler heißt: „Daher beobachten wir bei ihnen auch die unsteten Blickbewegungen."

Könner gehen die Sache routinierter und damit ganzheitlicher an. Sie machen zwar auch Sprünge, aber vor allem nach vorn, nämlich um über Wörter hinwegzuhüpfen. 20 bis 30 Prozent aller Wörter lassen geübte Erwachsene aus. Und die Wörter, die sie lesen, gehen sie nicht Buchstabe für Buchstabe durch. Selten müssen sie ein Wort mit ihrem Blick mehrmals anfassen, um es zu verarbeiten. So huscht der trainierte Blick insgesamt viel flotter über die Zeilen, und der Geübte liest fließend. >

Grafik: MPI für Bildungsforschung





Real oder erfunden? Für Erwachsene ist es meist kein Problem zu entscheiden, ob es „Onschatt“ wirklich gibt. Doch wie lange braucht die junge Probandin von Forschungsgruppenleiter Sascha Schroeder dafür? Sie hilft Wortzauberer Baldrian, auf dem Laptop Ordnung in das vom Wortblitz verursachte Durcheinander zu bringen.

Im Alter lässt die Leseleistung, auch aufgrund des abnehmenden Sehvermögens, häufig nach. Aber ältere Rezipienten hüpfen trotzdem nicht gar so extrem in Texten herum wie Kinder. Verlernen Menschen, die älter als 65 Jahre sind, das Lesen wieder? Klare Antwort des Forschers: „Nein!“ Er spricht von Phasen. „Die harte Lernphase dauert bis zum 16. Lebensjahr, danach beginnt die stabile Plateauphase, die bis über die mittlere Erwachsenenzeit hinausreicht, im Alter geht es dann wieder etwas nach unten.“

Doch zurück zu den Anfängen. Wie schnell und wie stark sich die Blickbewegungen im Laufe der Leseentwicklung verändern, ist eine der grundlegenden Fragen, denen das Berliner Team nachgeht. Schroeder: „Hängt es damit zusammen, dass die Augen der Kinder sich noch entwickeln, oder liegt es daran, dass die Kinder sprachlich immer besser werden?“ Und: „Was steuert die Blickbewegungen? Wie unterscheiden sich Blickbewegungen von Kindern mit und Kindern ohne Leseschwierigkeiten?“

Schroeder hofft, dass die Studie der Blicke beim Lesen auch praktisch nützt. Denn Kenntnisse über die Augenbewegungen helfen, Probleme beim Lesen zu entdecken. In den 1970er-Jahren wurde Schroeder zufolge noch geglaubt, dass schlechte Leser vor allem Probleme mit den Augenbewegungen hätten. Damals sei man davon ausgegangen, dass die Augenbewegungen von Kindern mit Lesestörungen noch nicht reif, also entwickelt genug seien.

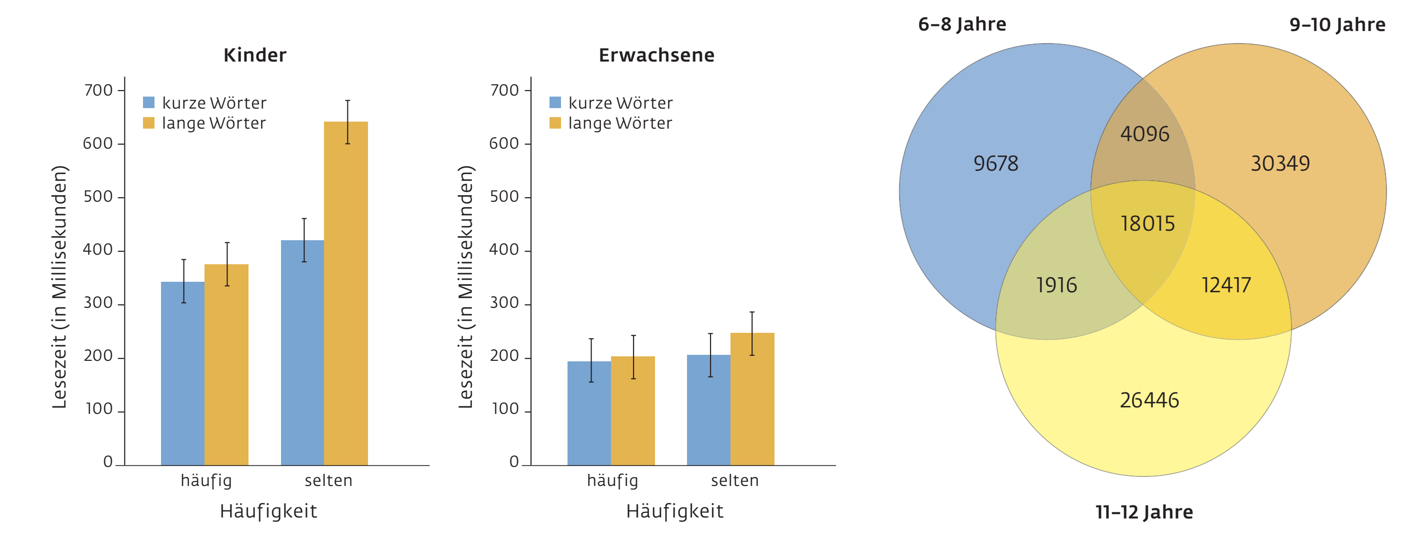
FINNISCHE KINDER HABEN ES BEIM LESEN LERNEN LEICHTER

„Neue Forschungsergebnisse widersprechen dem“, erklärt Schroeder. „Bei Kindern mit Leseproblemen sind die Bewegungsmuster der Augen zwar tatsächlich auffällig, aber das ist keine Ursache, sondern vielmehr eine Konsequenz ihrer sprachlichen Defizite.“ Ein Nutzen der Eye-Tracking-Studie bestehe also darin, eine vollkommen falsche Auffassung aus dem Weg zu räumen. Zudem helfe die Studie bei der Antwort auf die Frage, welche sprachlichen Informationen eigentlich wirklich während des Leseprozesses genutzt werden.

Die Eye-Tracking-Längsschnittstudie widmet sich dem klassischen Grundschulalter, in dem sich die Lesefähigkeiten am stärksten entwickeln. Da das Auge als Organ für alle Menschen universell ist, liefert dabei auch der internationale Vergleich interessante Erkenntnisse. Wenn sich die Augen und ihre Feinsteuerung bei allen Kindern gleich schnell entwickeln, hilft eine sprachvergleichende Studie, die Effekte der Augenentwicklungen und die sprachlichen Einflüsse voneinander zu trennen. So lesen auch englische und finnische Kinder die Übersetzungen der Texte, die Schroeders Team in Berlin erarbeitet hat. Wichtig ist dabei, dass der Schwierigkeitsgrad, also zum Beispiel das Verhältnis von bekannten und unbekannten, von langen und kurzen Wörtern, in allen drei Sprachen sehr ähnlich ist.

Transparenz heißt ein Stichwort beim internationalen Vergleich, also: Wie gradlinig überträgt eine Sprache die Laute in Buchstaben? Das Deutsche liegt dabei laut Schroeder in der Mitte. Englisch sei am kompliziertesten, Finnisch am leichtesten, weil dort so geschrieben werde, wie die Menschen sprechen. Vor diesem Hintergrund sei es sinnvoll, dass Kinder in England schon mit fünf eingeschult und auch vorher schon ans Lesen herangeführt würden. „Bei uns können Erstklässler oft schon nach einem halben Jahr oder spätestens am Ende des Schuljahres lesen, in England dauert das viel länger.“ Die unterschiedlichen Lerntempi und die Ursachen dafür seien aber noch nicht endgültig ergründet.

Fotos: Nina Lüth (2)



Eye-Tracking bringt es an den Tag: Die Balkendiagramme (links) zeigen die Lesezeiten, die Kinder und Erwachsene für verschiedene Wörter benötigen, die in Sätze eingebettet waren. Die Wörter (kurz = vier Buchstaben oder lang = acht Buchstaben) kommen unterschiedlich oft im Deutschen vor (selten versus häufig). Es zeigt sich, dass sich die Lesezeiten für kurze und lange Wörter bei Kindern nicht unterscheiden, wenn das Wort bekannt ist, nicht jedoch bei seltenen Wörtern. Bei Erwachsenen tritt dieser Effekt nicht mehr auf. Die Kreise (rechts) verweisen auf die Anzahl der gesammelten Wörter für die unterschiedlichen Altersbereiche in *childLEX*. Es gibt große Überschneidungen zwischen allen Gruppen, aber rund 40 Prozent der Wörter werden nur in einer bestimten Altersstufe verwendet.

Unabhängig von der Sprache lesen Kinder Wörter leichter, die sie bereits kennen – das beobachten auch die Berliner Forscher in ihrer Studie der Augenbewegungen lesender Kinder. Um mehr darüber zu erfahren, wie unterschiedlich Kinder bekannte und unbekannte Wörter erfassen, mussten sich die Berliner Forscher zunächst einmal einen Überblick über den Wortschatz von Kindern verschaffen: Mit welchen Wörtern, Wortverbindungen und grammatischen Konstruktionen können deutsche Kinder überhaupt vertraut sein?

Deutsche Schulanfänger bringen im Schnitt einen Wortschatz von 5000 Wörtern mit. In der Minimalvariante, erklärt Schroeder, sollte der Wortschatz am Ende der Schulzeit bei 20 000 Wörtern liegen. „Also haben wir bis dahin 15 000 Wörter zu lernen. Das kann schon aus Zeitmangel beileibe nicht nur im Unterricht geschehen.“ Erwiesenermaßen erweitern Kinder ihren Wortschatz vor allem über Bücher, die sie außerhalb der Schule lesen. Oder auch nicht.

Die Sprache in Kinderbüchern zu analysieren gibt also Aufschluss darüber, welche Wörter Kinder kennen können. Genau das hat das Berliner Team gemeinsam mit der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften und der Universität Potsdam getan. Nach einem Jahr legen die Partner nun zum ersten Mal entsprechende Daten für Deutschland vor. *childLEX* heißt die Sammlung von Wörtern und sprachlichen Konstruktionen, denen Kinder in altersgerechten Büchern begegnen.

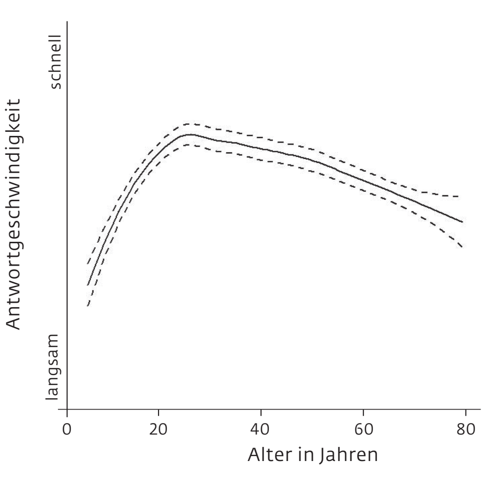
MIT CHILDLEX DEM WORTSCHATZ AUF DER SPUR

Eine Höllenarbeit steckt darin. Etwa zehn Millionen Wörter aus 500 Kinderbüchern analysierten die Forscher dafür. Jedem Wort wiesen sie eine syntaktische Kategorie zu, klassifizierten es also etwa als Nomen, Verb oder Adjektiv. Und sie haben zum Beispiel ausgezählt, welche Wörter wie häufig in Büchern für verschiedene Altersgruppen verwendet werden. Dass „Pirat“, „Elfe“ oder „Drache“ selbstverständlich zum Vokabular für Kinder gehören, sei leicht einzusehen, sagt Schroeder. „Aber wie verhält es sich mit Konjunktionen wie ‚daher‘ oder ‚sodass‘, die Schlussfolgerungen einleiten? Und unterscheiden sich sogenannte Mädchenbücher von denen für Jungen in ihrer sprachlichen Komplexität?“

Die Wortsammlung *childLEX* – Linguisten sprechen von einem Korpus – unterscheidet zwischen drei Altersgruppen: Sechs- bis Achtjährige, Neun- und Zehnjährige sowie Elf- und Zwölfjährige. Wie sich die Nennung von Wörtern in Büchern für die einzelnen Gruppen verändert, auch darauf hatten die Analysten ein Augenmerk. Schroeder nennt Beispiele. „Alles Zeitliche fällt Kindern früh leicht, also etwa ‚schnell‘, ‚danach‘ und ‚davor‘ – das funktioniert alles gut.“ Schwieriger sei es mit kausalen Beziehungen und Folgerungen für die Zukunft. „Anfänger verwechseln etwa gern ‚deshalb‘ mit ‚weshalb‘ und tun sich damit schwer.“

Mit *childLEX* ließen sich diese Fragen nun beantworten. Die Autoren der Bücher spielen dabei eine entscheidende Rolle. Sie wählen eine Sprache, von der sie meinen, sie entspreche dem Sprachverständnis der jeweiligen Zielgruppe. Oder sie verwenden gezielt Konstruktionen wie etwa Schlussfolgerungen, damit Kinder sie kennenlernen. So bestimmen die Autoren wesentlich den Sprachschatz ihrer Leser.

Schroeder sieht den Korpus als den Input an, den Heranwachsende bekommen. Ähnliche Studien gebe es bereits fürs Spanische, Französische und Englische. Aber: „Das Deutsche hat dagegen mit Abstand die meisten Wortformen.“ Allein jedes Verb könne in mindestens 13 verschiedenen Varianten konjugiert werden. Und wenn es etwas



Tribut des Alters: Die Grafik zeigt, wie sich die Antwortgeschwindigkeit in einer lexikalischen Entscheidungsaufgabe über die Lebensspanne verändert. Bis zum 25. Lebensjahr werden Menschen in dieser Aufgabe immer schneller, danach fällt die Antwortgeschwindigkeit stetig ab, allerdings nur sehr langsam.

Neues zu benennen gilt, setze das Deutsche so wie etwa bei „Krankenschwester" neue Begriffe gern aus bestehenden Wörtern zusammen. Her mit dem Kompositum.

Mit einer Onlinedatenbank ist das *childLex*-Projekt nun abgeschlossen. Interessierte können die Webseite frei nutzen. Sie gibt auch Auskunft darüber, welche Wörter wie oft in Kinderbüchern vorkommen. Häufig sind in den Büchern nicht nur Funktionswörter wie „und", sondern ebenso etwa „Mama" und „Papa".

Der Kinder-Korpus liefert auch wichtiges Material für eine weitere Studie. Für *DeveL* (Development Lexicon Project) haben die Wissenschaftler 1200 Wörter mit unterschiedlichen linguistischen Eigenschaften wie etwa die Häufigkeit, Wortlänge und Silbenzahl aus *childLex* ausgewählt. Sie beobachten, wie lange Kinder in der zweiten, vierten und sechsten Klasse brauchen, um sie zu lesen. Wichtig auch: Welche Fehler machen sie dabei? So wollen die Forscher ergründen, welche linguistischen Kriterien in welchem Alter für das Lesetempo entscheidend sind.

Parallel hat das Team junge und ältere Erwachsene die Wörter lesen lassen, um zu erkunden, wie sich das Lesen über die Lebensspanne verändert. „Es gibt natürlich bereits Modelle zur Worterkennung von Erwachsenen", legt Schroeder dar. „Aber bisher fehlte die Entwicklung dahin. Wir brauchen diese empirischen Daten, die auch den Weg zum Erwachsenenzustand bereits vom Kindesalter an abbilden."

Je älter der Leser, desto größer werden die linguistischen Einheiten. Hangeln sich Leseanfänger noch von einem Buchstaben zum nächsten, verarbeiten Fortgeschrittene Wörter bereits in Silben oder noch größeren Einheiten. Einigen Theorien zufolge bestimmen daher Wortlängen zunächst noch sehr über die Lesegeschwindigkeit, was aber abnehme. Immer entscheidender für die Lesezeit wird dann die Nutzungshäufigkeit eines Wortes.

GIBT ES DIE ZAUBERWÖRTER „GLUSS" UND „BRABEL" WIRKLICH?

Ob das stimmt, soll *DeveL* erkunden. In einem Teil von *DeveL* sollen Kinder und Erwachsene Wörter möglichst zügig vorlesen. In einem zweiten Teil müssen die Testleser am Computer so schnell wie möglich entscheiden, ob ein Wort korrekt und wirklich existent ist oder ob es sich um ein Nichtwort handelt: Rechte Taste, richtiges Wort. Linke Taste, falsches Wort – so wie „Gluß" und „Brabel".

Sitzen Kinder am Bildschirm, heißen die Wortschöpfungen „Zauberwörter". Denn es ist wichtig, dass die Untersuchungen den Kindern Spaß machen. Daher erklären ihnen die Forscher, dass beim Wortzauberer Baldrian ein Wortblitz ins Schloss eingeschlagen hat. Alles ist durcheinander, und die Kinder sollen ihm am Computer helfen, das Durcheinander zu ordnen. Die Reaktionszeiten bei der lexikalischen Entscheidungsaufgabe geben Aufschluss darüber, wie geläufig Wörter in welchem Alter sind. Noch ist die Untersuchungsreihe nicht abgeschlossen, da wartet noch viel Arbeit auf das Team.

Zoe hat ihren Test dagegen schon hinter sich. Mit ihrer Mutter verlässt sie zügig den Nebentrakt des Berliner Instituts. Sie lächelt. Könnte sein, dass zu Hause ein gutes Buch auf sie wartet. ◂

AUF DEN PUNKT GEBRACHT

- **Schriftsprache erschließt sich, anders als das gesprochene Wort, nicht ohne Unterricht und Übung. Jeder fünfte Deutsche beherrscht sie nicht gut oder gar nicht.**
- **Leseanfänger verarbeiten Texte einerseits Buchstabe für Buchstabe und Wort für Wort, dabei fixieren sie Wörter jedoch mehrfach, sodass ihre Augen im Text hin und her springen. Fortgeschrittene springen auch durch einen Text, überspringen aber dabei häufig Wörter.**
- **Erkenntnisse, wie sich die Augen von Kindern beim Lesen bewegen, geben Anhaltspunkte, um Förderprogramme für Kinder mit Leseschwäche zu optimieren, weil sie im Detail enthüllen, wo die Schwierigkeiten der Kinder liegen.**
- **Je größer die verbalen Fähigkeiten und Wortkenntnisse eines Kindes sind, desto leichter kann es beim Schriftspracherwerb die Laute in Buchstaben und Wörter übertragen und umgekehrt.**

GLOSSAR

Fixation: Haltepunkt in der Augenbewegung.

Korpus: Sprachprobe wie etwa eine Sammlung von Wörtern; ein Korpus liefert die Grundlage für linguistische Analysen.

Sakkade: Sprung in der Augenbewegung.

Semantisch: Die Semantik betreffend, also auf die Bedeutung von Buchstaben und Wörtern bezogen.

Syntaktisch: Die Syntax, also die Struktur eines Satzes, betreffend. Wörter lassen sich nach syntaktischen Kategorien, das heißt nach ihrer Funktion in einem Satz, klassifizieren, also etwa als Nomen, Verb oder Adjektiv beziehungsweise als Subjekt, Prädikat oder Objekt.



Süßen Versuchungen nicht nachzugeben erfordert Selbstkontrolle. Ihnen widerstehen können Kinder erst, wenn das Gehirn weit genug entwickelt ist.

Foto: 123RF



Reinbeißen
oder standhalten?

Schon früh zeigen Kinder ein erstaunliches Gefühl für Fairness und Gerechtigkeit. Je älter sie werden, desto mehr entwickeln sich Mitgefühl und Empathie. **Nikolaus Steinbeis** aus der Abteilung von **Tania Singer** am **Max-Planck-Institut für Kognitions- und Neurowissenschaften** in Leipzig erforscht, wie sich das Sozialverhalten von Kindern mit zunehmendem Alter verändert und welche Netzwerke im Gehirn dabei eine Rolle spielen.

TEXT **MARTIN TSCHECHNE**



» Kinder, die ihre Impulse besser kontrollieren können, besitzen mehr Nervenfasern im dorsolateralen präfrontalen Kortex.

Bunte Lutscher, Lakritzbonbons, Gummibärchen – „Quengelware“, präsentiert in Augenhöhe der Kinder: Die Verkaufsstrategen der Supermärkte wissen ganz genau, warum sie Süßigkeiten gerade da ausbreiten, wo die Kunden an der Kasse Schlange stehen und warten. Weil die Kleinen zugreifen, während die Erwachsenen ihre Einkäufe auf das Förderband packen. Das fördert die Verkaufszahlen. Denn bevor es jedes Mal ein großes Geschrei gibt, wenn die Eltern ihrem Kind das knallig verpackte, klebrige Zeug genervt wieder wegnehmen, kriegen die Kleinen häufig dann doch ihren Willen.

Nikolaus Steinbeis sieht aus wie jemand, der Kinder gut verstehen kann: offenes, jungenhaftes Lachen, bunter Pulli, kurze Hosen. An eine Untersuchung zu sozialen Kompetenzen und ihrer hirnphysiologischen Repräsentation denkt man eher nicht, wenn der Psychologe vom Max-Planck-Institut für Kognitions- und Neurowissenschaften einen Raum mit Kindern betritt und seine Schätze ausbreitet: Bilderbücher, Spiele, bunte Aufkleber und Kinogutscheine. Bonbons als Anreiz waren nicht erlaubt in der süßigkeitenskeptischen Schweiz, wo die Versuchsreihe vor einigen Jahren an der Universität Zürich begann. Trotzdem: Steinbeis ist so etwas wie der Marshmallow-Mann in den Experimenten des amerikanischen Psychologen Walter Mischel aus den 1960er-Jahren. Und nichts an ihm deutet darauf hin, dass er die Kinder gleich in heftige Konflikte stürzen wird.

STANDHAFT GEGEN VERLOCKUNG

Mischel hatte seinen Probanden einen Klumpen aus Zuckerschaum gegeben und ihnen einen zweiten versprochen, wenn sie es schafften, die Süßigkeit nicht anzurühren – Stichwort Impulskontrolle. Dann ging der Versuchsleiter aus dem Raum und überließ die Kinder ihrem Dilemma. Nur eine Kamera hielt

Foto: Sven Döring



Spielen für die Wissenschaft: Mithilfe von Verhaltenstests aus der Spieltheorie und eigens entwickelten Computerprogrammen analysiert Nikolaus Steinbeis das Sozialverhalten von Kindern unterschiedlicher Altersstufen.

die Kämpfe der Kinder fest, ihre Niederlagen und die Siege über die Versuchung. Die Testergebnisse zeigen, dass Kinder, die in dieser Situation standhaft bleiben, später in Schule und Berufsleben erfolgreicher sind. Eine solche Standhaftigkeit, wenn die Belohnung erst mit Verzögerung gewährt wird, geht einher mit Erfolg in der Schule und im Berufsleben. Verlässlicher noch als Intelligenz. Und für Erwachsene ist es äußerst vergnüglich zu beobachten, wie sich die Kleinen vor dem Teller hin und her winden und den inneren Konflikt kaum aushalten.

Auch in den Studien des Leipziger Forschers geht es um Verzicht auf eine unmittelbare Belohnung, um Impulskontrolle und um Fairness beim Teilen. Er zerlegt komplexe Wertesysteme wie Empathie und Gerechtigkeit in kleine, messbare Einheiten. Steinbeis setzt Kinder vor einen Bildschirm und lässt sie auf schnelle Zeichen reagieren, er hält ihnen die Resultate ihrer Mitspieler vor und beobachtet ihr Verhalten, wenn sie sich unterlegen fühlen oder glauben, sie hätten die Nase vorn. Oder er gibt ihnen Plastikgeld, für das sie etwas kaufen können. Zwei Münzen: ein bunter Sticker. Zehn Münzen: einmal Harry Potter im Kino.

Wer teilt, wer behält alles für sich? Seine Ergebnisse zeigen: Sechsjährige tun sich mit dem Abgeben schwer, ältere Kinder teilen eher.

GROSSZÜGIGE DIKTATOREN

Das Spiel in seiner einfachsten Variante nennt sich „Diktatorspiel" und ist bekannt aus den Experimenten des Schweizer Verhaltensökonomen Ernst Fehr, mit dem Steinbeis und Tania Singer, Direktorin am Leipziger Institut, schon in Zürich zusammengearbeitet haben. Mit dem Laborexperiment aus der Wirtschafts- und Verhaltensforschung untersuchen Wissenschaftler Altruismus und Egoismus. Der Versuchsteilnehmer bekommt dabei eine Reihe von Münzen und wird gefragt, ob er einer anderen, nicht im Raum anwesenden Person etwas abgibt. Ohne Druck, ohne erkennbaren Nutzen, aber viele tun es trotzdem. Im Widerspruch zur ökonomischen Lehrbuchtheorie behalten die Diktatoren nicht den gesamten Geldbetrag für sich, sondern geben durchschnittlich 20 bis 30 Prozent an den zweiten Spieler ab.

Die lange Zeit dominierende Vorstellung vom *Homo oeconomicus* wird dadurch infrage gestellt. Das Modell geht von einem ausschließlich rational denkenden Menschen aus, der vor einer Entscheidung sämtliche zur Verfügung stehenden Alternativen auf Basis eigener Entscheidungskriterien beurteilt. Erst dann wählt er die optimale Variante aus. So sachlich sind wir nicht. Es gibt so etwas wie ein soziales Gewissen, eine moralische Überzeugung, dass es auch anderen gut gehen soll. Natürlich sind Menschen mindestens ebenso häufig missgünstig, gierig und geizig, auch dies ohne rationale Berechnung. Wie aber entwickeln sich solche Wertesysteme, und welche Netzwerke des Gehirns spielen dabei eine Rolle?

Zusammen mit seinen Kollegen Boris Bernhardt und Tania Singer untersucht Steinbeis am Max-Planck-Institut in Leipzig dafür Kinder zwischen sechs und dreizehn Jahren. Relativ große Kinder eigentlich, denn zeigt sich kindlicher Egozentrismus nicht viel früher? Und ist andererseits nicht schon bei kleineren Kindern zu beobachten, dass sie teilen, Mitgefühl zeigen, anderen etwas abgeben? „Stimmt", sagt der Forscher. „Aber um die Ursprünge dieser Verhaltensweisen geht es uns nicht. Wir wollen vielmehr Weiterentwicklungen im Verhalten beobachten und diese mit Veränderungen im Gehirn verbinden. Genau dafür ist unsere Altersgruppe ideal."

In der Phase zwischen Einschulung und Pubertät ist das Wissen um Normen bereits ausgebildet. Die Kinder haben auf dem Weg der Erziehung ein erkennbares Stück hinter sich gebracht. Sie haben eine Vorstellung davon, dass es fair ist, auch dem anderen etwas zu gönnen. Aber sind ihre Gehirne auch schon so weit?

Variante zwei, das „Ultimatumspiel": Nun darf der Empfänger reagieren. Falls er das Angebot des Gebers zurückweist, bekommen beide nichts. Der Gebende muss sich also genau überlegen:

» Missgunst und Schadenfreude lassen nach, sobald die Impulskontrolle besser funktioniert.



Forschung macht offensichtlich Spaß: Nikolaus Steinbeis und Tania Singer benötigen aber auch viel Einfühlungsvermögen im Umgang mit Kindern und Erwachsenen als Versuchsteilnehmern.

Foto: Sven Döring

Wie wird der andere sich verhalten? Wie würde ich selbst mich an seiner Stelle verhalten? Ein *Homo oeconomicus* würde alles akzeptieren. Es ist schließlich besser als nichts. Aber im wahren Leben reagieren Menschen nicht so. Sie sind empört, wenn der andere ihnen ein klägliches Almosen anbietet, den Löwenanteil aber selber einstreicht. Dann lieber gar keine Belohnung, für keinen von beiden. In der Regel liegt der angebotene Anteil zwischen 40 und 50 Prozent. Angebote unter 30 Prozent werden häufig abgelehnt.

Gefragt sind also Einfühlungsvermögen und Kenntnis gesellschaftlicher Regeln. Während der Diktator nur seinem eigenen Gefühl für Gerechtigkeit und Fairness folgt, muss der Teilnehmer des Ultimatumspiels die Reaktion des anderen erahnen. Er muss gleichzeitig drei Standpunkte einnehmen und zusammenfassen: das eigene Interesse an der Belohnung, den Gerechtigkeitssinn sowie das Gerechtigkeitsempfinden des Gegenübers. Denn mit ein paar Brosamen, das bestätigen auch die Befunde der Wissenschaftler, geben sich Menschen in der Regel nicht zufrieden.

Mit der Magnetresonanztomografie (MRT) können die Max-Planck-Forscher Größe und Aktivität einzelner Gehirnareale während des Spiels messen. Das Resultat: Das Gehirn wägt solche komplizierten Zusammenhänge demnach in einer speziellen Region der Großhirnrinde ab, im sogenannten dorsolateralen präfrontalen Kortex. Er liegt etwa dort, wo der Mensch sich an den Kopf tippt, wenn er anderen einen Vogel zeigt oder sie auf sein eigenes Köpfchen hinweisen will. Das Areal ist vor allem bei sehr komplexen Operationen aktiv, bei Lüge und Vorausschau, bei abwägender Taktik und langfristiger Planung. Auch wer Situationen beurteilen und aus gelernten Normen und eigener Erfahrung die Reaktion einer anderen Person vorhersagen muss, benötigt dazu diesen Bereich des Großhirns.

ENTWICKLUNG DES GEHIRNS BRAUCHT ZEIT

Der dorsolaterale präfrontale Kortex entwickelt sich vergleichsweise spät. Folglich sollten ältere Kinder souveräner mit solchen Aufgaben umgehen. Den Ergebnissen der Leipziger Forscher zufolge ist das tatsächlich der Fall. Ältere Kinder kalkulieren in ihre Angebote die Möglichkeit einer Ablehnung ein und sind in ihren Überzeugungen und Reaktionen gefestigter. Sechsjährige lassen sich dagegen eher überreden und nehmen Angebote an, die sie zuvor als unfair bezeichnet hatten. Obwohl sie schon einen ausgeprägten Sinn für Fairness besitzen, geben sie einer Verlockung leichter nach.

Wer jemals Kinder auf dem Schulhof beim Tausch von Sammelbildchen beobachtet hat oder wer selber die Fußballspieler des MSV Duisburg gegen die von Real tauschen wollte, der weiß um die Macht von Verlockung und Überredung. Werte und Überzeugungen mögen vorhanden sein, sie sind aber nicht gefestigt genug, um das Verhalten verlässlich zu leiten. Ein paar Jahre Altersunterschied sorgen dafür, dass die besseren Bildchen immer bei den Größeren landen.

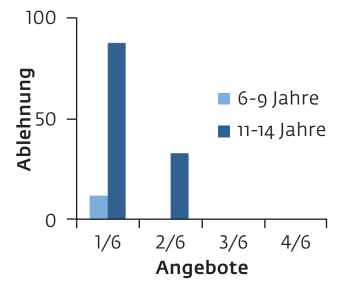
Bei den älteren Kindern haben die Forscher eine stärkere Gehirnaktivität im dorsolateralen präfrontalen Kortex gemessen, vor allem in der linken der beiden Gehirnhälften. Unabhängig von ihrem Alter besitzen Kinder, die ihre Impulse besser kontrollieren können, dort zudem mehr Nervenfasern. Darüber hinaus beobachteten die Forscher eine erstaunlich große Diskrepanz zwischen Überzeugung und tatsächlichem Verhalten: Von 85 Prozent der jüngeren Kinder, die ein Angebot als unfair zurückweisen wollten, taten dies am Ende nur knapp 13 Prozent.

Das löst bei den Übervorteilten natürlich negative Gefühle von Schwäche, Neid und Frustration aus. „Erst im Alter von vier oder fünf Jahren fangen Kinder an, sich mit anderen zu vergleichen“, sagt Steinbeis. „Einen Dreijährigen lässt es meist noch kalt, wenn ein anderer bei irgendeiner Aufgabe besser abschneidet als er selbst.“ Verantwortlich dafür ist offenbar die Aktivität eines Hirnareals im Innern des Gehirns, des temporal-parietalen Kreuzungsareals. Es funktioniert wie ein Schalter für den Abgleich eigener und fremder Zustände und Bedürfnisse.

VERÄNDERTE SPIELREGELN

Mit dem Diktatorspiel lässt sich der Schalter gut untersuchen. Es genügt, die Regeln nur leicht zu verändern: den möglichen Gewinn zu erhöhen, den Spielern die Möglichkeit zu geben, den eigenen Gewinn zu sichern und erst dann etwas abgeben zu müssen; dem anderen eine höhere Belohnung zu gönnen, wenn man selber vergleichsweise wenig bekommt; oder zu verzichten, damit auch der andere etwas erhält. Mit dem MRT können die Wissenschaftler auch beobachten, wie es sich im Gehirn auswirkt, sein Bestes gegeben zu haben und von einem Mitspieler überflügelt worden zu sein. Das Machtspiel als Chance, fair und großzügig zu sein

oben: Für das Diktator- und Ultimatumspiel werden die Versuchsteilnehmer mit Eigenkapital ausgestattet. Es ist zwar nur Spielgeld, für die Kinder ist es aber trotzdem eine große Verlockung.



Mitte: Ein Sechstel ist zu wenig: Ein ungerechtes Angebot lehnen Kinder im Alter von elf bis 14 Jahren fast immer ab. Selbst ein Anteil von einem Drittel wird manchmal noch zurückgewiesen. Sechs- bis Neunjährige akzeptieren solche Angebote dagegen meistens.



unten: Virtueller Schnitt durch das Gehirn: Beim Abwägen komplizierter sozialer Probleme ist der dorsolaterale präfrontale Kortex aktiv (rot). Bei jüngeren Kindern ist dieses Areal noch nicht ausreichend entwickelt. Sie passen ihre Angebote an die Situation schlechter an.

Fotos und Grafik: Sven Döring (oben); MPI für Kognitions- und Neurowissenschaften (unten, 2)



– oder als Anlass für Kleinlichkeit, Raffgier und Vergeltungssucht.

Bei den Sechsjährigen sind Gefühle von Neid und Schadenfreude besonders ausgeprägt. Mit zunehmendem Alter gehen sie jedoch zurück. Offenbar ist bei Kindern in diesem Alter das Bewusstsein für das Glück der anderen schon weit entwickelt. Die Fähigkeit zur Impulskontrolle hinkt dagegen hinterher.

Die Versuchungen sind groß, das Wissen um soziale Regeln und Erwartungen ist oft schon recht gut angelegt – allein: Es fehlt die Kraft.

MEDITATION VERBESSERT SOZIALE FÄHIGKEITEN

Das klingt nach schwierigen und schmerzvollen Erfahrungen. Aber warum gelingt das älteren Kindern und Erwachsenen so viel besser? Das Nachlassen von Missgunst und Schadenfreude erklären die Leipziger Wissenschaftler mit besserer Selbstkontrolle. „Vergessen Sie nicht die Regulation von Gefühlen“, fügt Steinbeis hinzu. „Zum Beispiel Meditation: Wir können uns frei machen von Bedürfnissen. Wir können Einsicht schulen. Denken Sie an die Fähigkeiten buddhistischer Mönche. Das wird für uns alle noch sehr wichtig.“

Das langfristige Ziel der Forscher ist es, mithilfe des MRT die kritischen Perioden in der Entwicklung aufzuspüren, in denen solche Fähigkeiten besonders leicht ausgebaut werden können. Steinbeis verweist auf Parallelen in der Sprachentwicklung: „Eine Sprache, die bis zum fünften oder sechsten Lebensjahr erlernt worden ist, ist im Gehirn so ver-

Tania Singer hat das Forschungsgebiet der sozialen Neurowissenschaften mitbegründet. Auch mit ihrem neuen E-Book, das Übungsbeispiele aus der buddhistischen Meditation enthält, will sie neue Wege bei der Vermittlung von Wissenschaft gehen (siehe Rubrik „Neu erschienen“).

Foto: Sven Döring



Wir haben die starke Vermutung, dass es auch für bestimmte Aspekte des Sozialverhaltens eine oder mehrere kritische Phasen gibt.

ankert, dass wir von einer Erstsprache sprechen können. Alles, was danach kommt, ist anders repräsentiert. Eben als Zweitsprache, auch wenn sie sehr gut beherrscht wird. Es gibt also eine kritische Phase, in der Reize besonders effizient verarbeitet werden können. Und wir haben die starke Vermutung, dass dies auch für bestimmte Aspekte des Sozialverhaltens gilt."

Von Vorschulkindern Prinzipientreue oder verlässliche Impulskontrolle zu erwarten ist also einfach zu früh. Die Kartierung einzelner Hirnareale und ihrer Funktionen bei der Steuerung von Gefühlen und Verhalten war ein erster Schritt der Neurowissenschaften. Die Beobachtung von Veränderungen in komplexen, dabei aber kontrollierten sozialen Situationen ein zweiter. Die gezielte Veränderung von Strukturen im Gehirn durch Stimulation, Lernen oder Training soll der nächste sein. ◂

AUF DEN PUNKT GEBRACHT

- **Die Ausprägung des kindlichen Sozialverhaltens folgt der Entwicklung der zugrunde liegenden Hirnareale, wie zum Beispiel des dorsolateralen präfrontalen Kortex und des temporal-parietalen Kreuzungsareals.**
- **Da manche dieser Regionen erst relativ spät vollständig ausreifen, können jüngere Kinder das Verhalten anderer schlechter vorhersagen und eigenen Impulsen schwer widerstehen.**
- **Ähnlich wie beim Spracherwerb vermutet man beim Sozialverhalten eine oder mehrere kritische Phasen, in denen sich bestimmte soziale Fähigkeiten besonders beeinflussen lassen sollten.**

Depressive Fische

Zebrabärblinge könnten bei der Suche nach neuen Medikamenten helfen

Fische können ihren Gefühlen in der Regel nur schlecht Ausdruck verleihen. Schon deshalb drängen sie sich nicht gerade als Forschungsobjekte für psychiatrische Erkrankungen auf. Das könnte sich jetzt ändern: Forschungsergebnisse legen nahe, dass der Zebrafisch ein geeigneter Modellorganismus für die Entwicklung neuer Psychopharmaka sein könnte. Forscher des Max-Planck-Instituts für Neurobiologie in Martinsried bei München und der Universität von Kalifornien haben beobachtet, dass chronisch gestresste Zebrafische Anzeichen einer Depression zeigen. Bei Tieren, denen aufgrund einer genetischen Veränderung der Rezeptor für das Hormon Cortisol fehlt, versagt den Wissenschaftlern zufolge die Regelung der Stresshormone. Sie gewöhnen sich deshalb schlecht an neue Situationen: Allein in einem neuen Aquarium verharren die dauergestressten Fische bewegungslos am Beckenboden. Ein Antidepressivum im Wasser normalisiert ihr Verhalten wieder. Chronischer Stress ist also offensichtlich nicht bloß eine Begleiterscheinung, sondern kann ein Auslöser von Depressionen und Angsterkrankungen sein. (Molecular Psychiatry, Juni 2013)



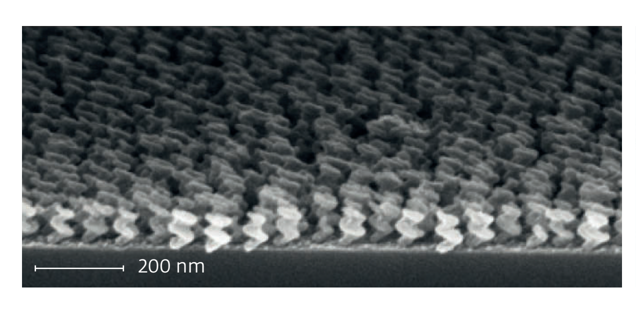
Der Zebrafisch (*Danio rerio*) ist ein beliebter Modellorganismus für viele genetische und entwicklungsbiologische Fragen – künftig vielleicht auch für psychiatrische Erkrankungen.

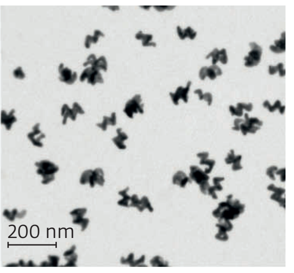
Nanobauteile nach Maß

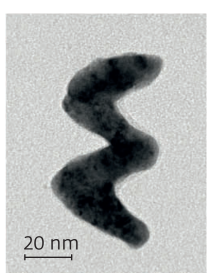
Mit einer präzisen und effizienten Methode lassen sich Nanostrukturen in vielfältigen Formen und Materialkombinationen herstellen

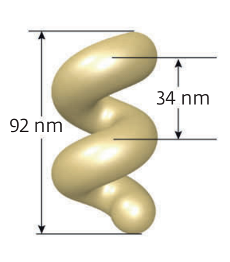
Nanomaschinen nehmen den Weg von der Vision zur Wirklichkeit, und Forscher des Max-Planck-Instituts für Intelligente Systeme in Stuttgart helfen ihnen dabei einen guten Schritt voran. Sie haben eine Methode entwickelt, Materialien mit sehr unterschiedlichen chemischen und physikalischen Eigenschaften zu vielfältigen Nanostrukturen wie Stäbchen, Haken, Schrauben und Zickzack-Gebilden zu kombinieren. Aus dem Dampf der Komponenten züchteten die Wissenschaftler um Peer Fischer auf einer gekühlten und drehbaren Scheibe unter anderem Antennen für sichtbares Licht. Die Scheibe hatten sie zuvor mit zahllosen winzigen Goldinseln als Ankerpunkten für die verdampften Materialien versehen. Mit dem Verfahren lassen sich Nanobauteile präziser als mit bisherigen Methoden und gleichzeitig in milliardenfacher Ausführung produzieren. (Nature Materials, online, 23. Juni 2013)

Nanospiralen als Lichtantennen: Die winzigen Nanostrukturen lassen sich mit einer neuen Methode sehr präzise und in großer Zahl herstellen. Durch ihre Abmessungen und ihre Zusammensetzung lässt sich steuern, welche Lichtfarbe sie absorbieren. Zudem eignen sie sich, um zirkular polarisiertes Licht zu filtern.







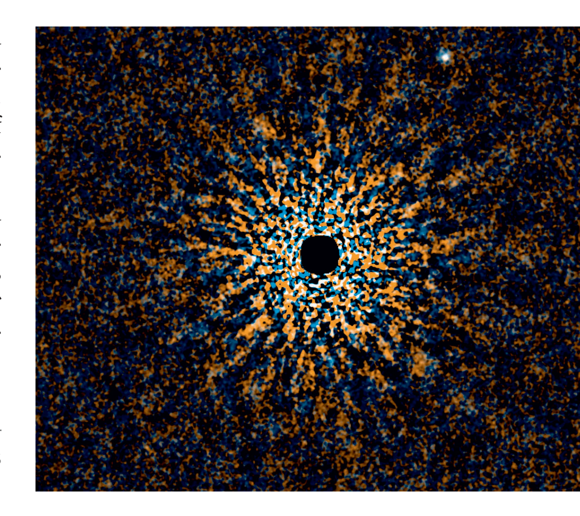


Fotos: MPI für Neurobiologie (oben), MPI für intelligente Systeme - Andrew G. Mark

Porträt eines Jupiter-Zwillings

Subaru-Teleskop liefert Bild des Exoplaneten GJ 504b, der einen sonnenähnlichen Stern umläuft

Forscher, unter anderem aus dem Max-Planck-Institut für Astronomie, haben mit dem Subaru-Teleskop auf Hawaii das Porträt eines jupiterähnlichen Planeten aufgenommen, der einen sonnenähnlichen Stern vom Spektraltyp G umkreist. Der sechzig Lichtjahre entfernte GJ 504b ist der kälteste und wahrscheinlich auch masseärmste Exoplanet, von dem man bisher Fotos gewonnen hat. Die direkte Abbildung des Objekts ist extrem schwierig, liefert aber wichtige Informationen über physikalische und chemische Zustandsgrößen wie Atmosphäreneigenschaften oder Temperatur. Die Abschätzung der Masse beruht auf Modellierungen des Abkühlungsprozesses des Planeten seit seiner Entstehung; die meisten Forscher favorisieren rund drei Jupitermassen. Die Distanz zu seinem Stern beträgt das 44-Fache des mittleren Abstands der Erde von der Sonne, also rund sechs Milliarden Kilometer. (Astrophysical Journal 774, 11, 2013)



Porträt eines zweiten Jupiter: Das Nahinfrarot-Falschfarbenbild zeigt den Exoplaneten GJ 504b, der den sonnenartigen Stern GJ 504 umkreist, aufgenommen mit dem Subaru-Teleskop. Licht des Sterns (in der Mitte) wurde mechanisch und durch systematische Bildbearbeitung unterdrückt.

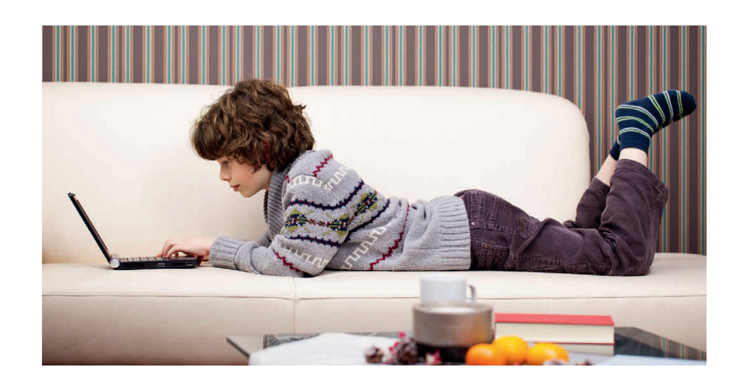
Erfahrene Köpfe denken zuverlässiger

Die geistige Leistung älterer Menschen schwankt weniger als die jüngerer

In der Arbeitswelt begegnen ältere Menschen einem hartnäckigen Vorurteil: Sie seien zwar erfahrener, aber weniger produktiv als jüngere. Das stimmt nur zur Hälfte: erfahrener ja, aber nicht unbedingt weniger produktiv. Wie Wissenschaftler des Max-Planck-Instituts herausgefunden haben, schwankt die geistige Leistungsfähigkeit älterer Menschen von Tag zu Tag weniger als die jüngerer. Die Forscher hatten einer Gruppe von gut 100 Testpersonen im Alter von 20 bis 31 Jahren und einer etwa gleich großen Gruppe von 65- bis 80-Jährigen an 100 Tagen jeweils neun Aufgaben vorgelegt. Ältere Menschen schnitten dabei im Durchschnitt zwar nicht so gut ab wie jüngere, ihre Ergebnisse unterlagen aber weniger der Tagesform als die Resultate der jüngeren. Denn ältere Menschen eignen sich dank ihrer Erfahrung offensichtlich Strategien an, um Aufgaben zuverlässig zu bearbeiten, und sie sind ausgeglichener und gleichbleibend motiviert. Dass ältere Menschen ihre geistige Leistung konstanter erbringen, passt zu Erkenntnissen, die Forscher des Max-Planck-Instituts für Sozialrecht und Sozialpolitik gewonnen haben. Demnach arbeiten ältere Menschen zuverlässiger und unterm Strich produktiver; außerdem machen sie seltener schwere und teure Fehler als jüngere. (Psychological Science, 10. Juli 2013)

Spielend mehr Gehirn

Der Einfluss von Computerspielen auf Kinder und Jugendliche ist umstritten – im Negativen wie im Positiven. Nun legt eine Studie von Forschern des Max-Planck-Instituts für Bildungsforschung und der Charité in Berlin nahe, dass die Spiele das räumliche Denken schulen. Die Wissenschaftler haben mit Messungen im Magnetresonanztomografen festgestellt, dass der entorhinale Kortex bei den Probanden desto größer war, je mehr Zeit diese in ihrem Leben mit Videospielen verbracht hatten. Der entorhinale Kortex spielt für das räumliche Denken eine wichtige Rolle. Den größten Effekt auf diesen Teil der Hirnrinde besaßen Logik- und Puzzlespiele wie Tetris oder Minesweeper sowie Jump-and-Run-Spiele wie Super Mario. Bei Spielern von actionbasierten Rollenspielen war die Volumenzunahme hingegen weniger ausgeprägt. Die Ergebnisse lassen vermuten, dass sich passionierte Computerspieler möglicherweise besser in ihrer Umwelt orientieren können. (Molecular Psychiatry, online, 20. August 2013)



Fotos: NAOJ (oben), fotolia (unten)

Der Klimawandel gibt Gas

Die Erderwärmung könnte sich durch meteorologische Extremereignisse selbst verstärken



Ein Extrem zieht das andere nach sich: Lange Dürreperioden wie hier in Griechenland bewirken, dass ein terrestrisches Ökosystem deutlich weniger Kohlenstoff aufnimmt als unter gemäßigten klimatischen Bedingungen.

Wetterextreme dürften sich infolge des Klimawandels häufen und diesen noch verstärken. Denn anhaltende Dürren, Hitzewellen, Starkregen oder extreme Stürme haben offenbar zur Folge, dass Landökosysteme wie Wälder, Grasland oder landwirtschaftliche Nutzflächen durch Fotosynthese pro Jahr etwa elf Milliarden Tonnen weniger Kohlendioxid aufnehmen als in einem Klima ohne solche Extremereignisse. Das hat ein internationales Team um Markus Reichstein, Direktor am Max-Planck-Institut für Biogeochemie, mithilfe von Satellitenbeobachtungen und bodennahen Messungen an rund 500 Orten weltweit ermittelt. Die wegen der Wetterextreme in der Luft bleibende Menge an Kohlendioxid entspricht etwa einem Drittel des weltweiten jährlichen Treibhausgasausstoßes, für den der Mensch verantwortlich ist. Etwa die gleiche Menge Kohlendioxid nehmen die Landökosysteme jedes Jahr auf und speichern sie längerfristig in Biomasse. Das bedeutet: Ohne Wetterextreme könnten sie doppelt so viel Treibhausgas aus der Atmosphäre entfernen. Und wenn die Extremereignisse künftig zunehmen, werden Wälder und andere Ökosysteme dem Menschen auch weniger beim Klimaschutz helfen können. (Nature, 15. August 2013)

Ein Magnetar im Herzen der Milchstraße

Radioastronomen nutzen Pulsar mit starkem Magnetfeld zum Studium des superschweren schwarzen Lochs

Im Zentrum unserer Milchstraße haben Astronomen einen Magnetar aufgespürt. Das Objekt – ein extrem dicht gepackter, nur 20 Kilometer durchmessender Neutronenstern, der wie ein kosmischer Leuchtturm äußerst präzise Radioblitze abstrahlt (Pulsar) – besitzt ein außergewöhnlich starkes Magnetfeld. Mit seiner Hilfe lässt sich die direkte Umgebung des schwarzen Lochs im Herzen der Galaxis studieren. So deuten erste Resultate, die ein Team unter Leitung des Bonner Max-Planck-Instituts für Radioastronomie mit dem Magnetar als magnetischer Sonde erzielte, auf ein starkes Magnetfeld in unserem galaktischen Zentrum hin. Das Magnetfeld wird von ionisierter Materie erzeugt, die in das schwarze Loch fällt. Damit lässt sich die Strahlung von Radio- bis zu Röntgenwellen erklären, die lange mit der unmittelbaren Umgebung des schwarzen Lochs in Verbindung gebracht wurde. Zudem können sehr starke Magnetfelder direkt am schwarzen Loch bewirken, dass dieses nur vergleichsweise wenig Materie aufnimmt. Aus diesem Grund ist das Massemonster im Herzen der Milchstraße im Vergleich zu schwarzen Löchern in anderen Galaxien auf Diät gesetzt. (Nature, 14. August 2013)



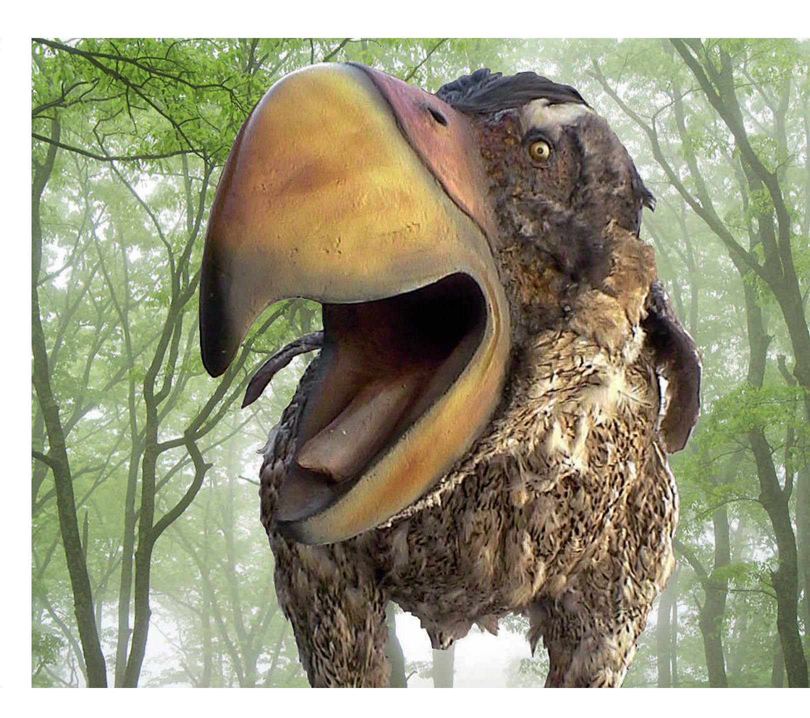
Im galaktischen Zentrum: Die künstlerische Darstellung zeigt den Magnetar PSR J1745-2900. Dahinter steckt ein Pulsar mit einem sehr starken Magnetfeld. Er liegt in unmittelbarer Umgebung zum superschweren schwarzen Loch mit ungefähr viermillionenfacher Sonnenmasse.

Fotos: Marcel van Oijen (oben), Grafik: MPI für Radioastronomie – Ralph Eatough

Harmloser Terrorvogel

Der Urzeitvogel Gastornis war vermutlich kein Räuber, sondern ein Pflanzenfresser

Der urzeitliche Vogel Gastornis stand offenbar zu Unrecht im Verdacht, ein Furcht einflößender Jäger gewesen zu sein. Jahrzehntelang wurde er mit dem Beinamen Terrorvogel verunglimpft, weil Paläontologen mutmaßten, er habe Beutetieren mit dem gewaltigen Schnabel das Genick gebrochen. Stattdessen rupfte er damit wohl nur vegetarische Kost. Das schließt ein deutsches Forscherteam, an dem auch Stephen Galer vom Max-Planck-Institut für Chemie in Mainz beteiligt war, aus einer Analyse des Verhältnisses von zwei Kalziumisotopen in den fossilen Knochen des Vogels. Bei Isotopen handelt es sich um unterschiedlich schwere Formen eines Elementes. Auf dem Weg durch die Nahrungskette verändert sich das Isotopenverhältnis, sodass sich daran Pflanzen- und Fleischfresser unterscheiden lassen. Und der vor gut 40 Millionen Jahre lebende Gastornis gehörte offensichtlich zu Ersteren. (Goldschmidt-Konferenz, 25. bis 30. August 2013)



Trotz seines Furcht einflößenden Schnabels und seiner enormen Größe scheint Gastornis kein urzeitlicher Raubvogel, sondern ein Pflanzenfresser gewesen zu sein. Das Jura-Museum Eichstätt besitzt ein lebensgroßes Modell des Vogels, das hier mithilfe moderner Computertechnik in einer natürlicheren Umgebung ausgesetzt wurde.

Uralte Weichmacher

Heutige Werkzeuge zur Lederbearbeitung wurden in ähnlicher Form schon von Neandertalern gefertigt

Ohne Kleidung ist Mitteleuropa ein unwirtlicher Ort, und während der letzten Eiszeit war das allemal so. Auch frühe Menschen haben daher schon Techniken entwickelt, um Kleider aus Tierhäuten herzustellen. Und sie nutzten dafür Werkzeuge, die stark den heute noch gebräuchlichen Lissoirs zur Verarbeitung von Leder ähneln. Die Schleifgeräte machen Leder weicher, glatter und wasserbeständiger. Wissenschaftler des Max-Planck-Instituts für evolutionäre Anthropologie in Leipzig und der niederländischen Universität Leiden haben in zwei Ausgrabungsstätten im Südwesten Frankreichs entsprechende Knochenwerkzeuge der Neandertaler entdeckt. Die urzeitlichen, aus den Rippen von Rehen gefertigten Lissoirs sind etwa 50 000 Jahre alt und somit älter als die ersten Belege zu modernen Menschen in Westeuropa. Die Funde weisen daher erstmals darauf hin, dass der moderne Mensch kulturelle Errungenschaften vom Neandertaler übernommen hat und nicht nur umgekehrt. Allerdings können die Forscher noch nicht vollkommen ausschließen, dass der moderne Mensch früher in Europa eingetroffen ist als bisher bekannt und das Verhalten der Neandertaler beeinflusst hat. (PNAS, 12. August 2013)



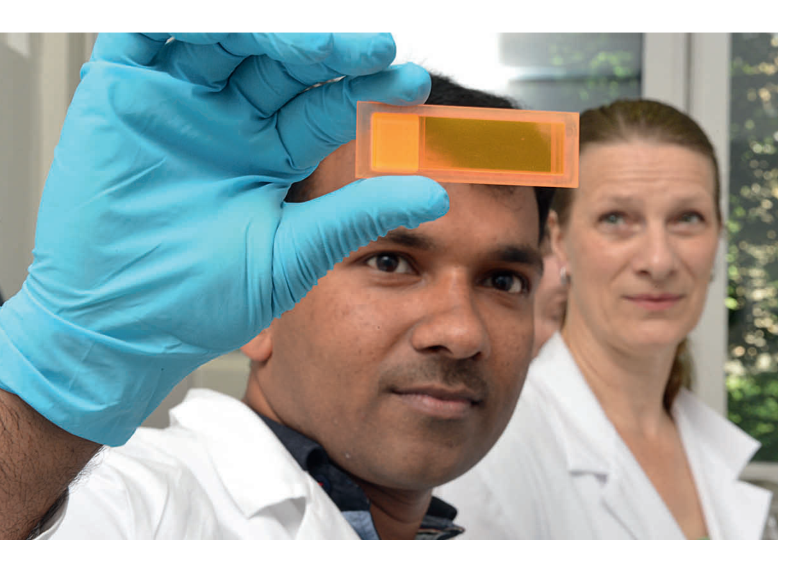


Verschiedene Ansichten eines Lissoirs-Bruchstücks der Neandertaler (links). Die natürliche Flexibilität der Rippen sorgt für einen ständigen Druck auf die Tierhaut, ohne diese aber zu zerreißen (rechts). Bricht das Werkzeug, so entstehen kleine Fragmente ähnlich den nun gefundenen.

Fotos und Grafik: Jura-Museum Eichstätt (oben), Abri Peyrony & Pech-de-l´Azé I Projects (unten, 2)

Ein Schnelltest für die Pest

Mit einem zuckerbasierten Nachweis lässt sich das Bakterium *Yersinia pestis* einfach und treffsicher identifizieren



Eine Infektion mit *Yersinia pestis*, dem Erreger der Pest, lässt sich künftig möglicherweise leichter diagnostizieren als bisher. Wissenschaftler um Peter Seeberger, Direktor am Max-Planck-Institut für Kolloid- und Grenzflächenforschung in Potsdam-Golm, haben einen einfachen, kostengünstigen und zuverlässigen Test für das Bakterium entwickelt. Die Forscher identifizierten und synthetisierten zunächst einen Mehrfachzucker, der für die Oberfläche des Bakteriums charakteristisch ist. Den Mehrfachzucker verknüpften sie mit einem Protein, um seine immunologische Wirkung zu steigern. Das Glykoprotein lässt sich auf zwei Arten nutzen, um den Pesterreger ausfindig zu machen. Zum einen kann es als Antigen dienen, um im Blut von Erkrankten Antikörper auf *Yersinia pestis* nachzuweisen. Die Potsdamer Forscher erzeugten damit aber auch Antikörper, mit denen sich der Pesterreger in infizierten Proben direkt feststellen lässt. (Angewandte Chemie International Edition, online, 10. Juli 2013)

Dem Schwarzen Tod auf der Spur: Chakkumkal Anish, Gruppenleiter am Max-Planck-Institut für Kolloid- und Grenzflächenforschung, inspiziert einen Träger, mit dem sich der Pesterreger *Yersinia pestis* nachweisen lässt.

Kein Königsweg zum Wählerglück

Volksentscheide gelten als probates Mittel gegen die Politikverdrossenheit. Doch sie erhöhen die Akzeptanz politischer Entscheidungen in der Bevölkerung nicht zwangsläufig. Das hat ein internationales Team um Forscher des Max-Planck-Instituts zur Erforschung von Gemeinschaftsgütern festgestellt. Kurz vor einer Landtagswahl befragten die Wissenschaftler 615 Bürger von Rheinland-Pfalz im Alter von 18 bis 70 Jahren und präsentierten ihnen zu den Themen Atomausstieg, Zentralabitur und islamischer Religionsunterricht an öffentlichen Schulen verschiedene Szenarien, wie positive oder negative Entscheidungen dazu zustande gekommen waren: Eine Form direkter Demokratie etwa durch einen Volksentscheid sollte den Beschluss herbeigeführt haben, ein Expertenkomitee, ein von der SPD oder CDU dominiertes Parlament oder eine parteiübergreifende Parlamentsmehrheit. Der Studie zufolge akzeptierten die Befragten einen



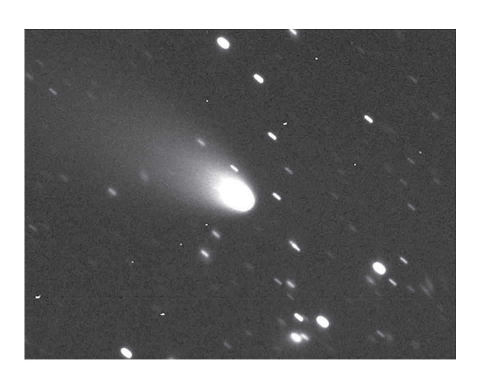
Volksentscheid nur dann eher als andere Entscheidungswege, wenn ihnen das Thema wichtig war. Einen Königsweg zum Wählerglück gibt es also offensichtlich nicht. (Preprints des MPI zur Erforschung von Gemeinschaftsgütern, Bonn 2013/10)

Das Gedächtnis in der Hirnrinde

Lange galt der Hippocampus als ein Gedächtniszentrum im Gehirn, in dem Erinnerungen dauerhaft abgelegt werden. Wissenschaftlern des Max-Planck-Instituts für medizinische Forschung in Heidelberg und der Universität von Sevilla zufolge müssen die Lehrbücher der Neurobiologie jetzt allerdings umgeschrieben werden. Neue Ergebnisse der Forscher zeigen nämlich, dass die Großhirnrinde der Speicherort ist. Die Wissenschaftler haben das Lernverhalten genetisch veränderter Mäuse untersucht, bei denen sogenannte NMDA-Rezeptoren ausschließlich in der motorischen Hirnrinde ausgeschaltet sind. Ohne die NMDA-Rezeptoren in der primären motorischen Großhirnrinde können sich die genetisch veränderten Mäuse den Zusammenhang zwischen einem Ton und einem elektrischen Reiz nicht merken. Dies deckt sich mit dem Befund von Forscherkollegen am Heidelberger Max-Planck-Institut, dass Mäuse auch ohne NMDA-Rezeptoren im Hippocampus räumliche Zusammenhänge lernen und speichern können. (Nature Communications, 27. August 2013)

Frühstart für Rosetta-Kometen

Himmelskörper halten sich nicht immer an die Zeitpläne von Astronomen. Der Komet Churyumov-Gerasimenko wird auf seinem Weg in Richtung Sonne früher als bisher gedacht beginnen, Gas und Staub zu spucken. Er ist Ziel der Raumsonde *Rosetta* der Europäischen Weltraumagentur ESA. Die Sonde wird ihn im nächsten Jahr erreichen und im Herbst eine Landeeinheit auf ihm absetzen. Doch bereits im März 2014 sollte die Aktivität des Kometen von der Erde aus messbar sein.



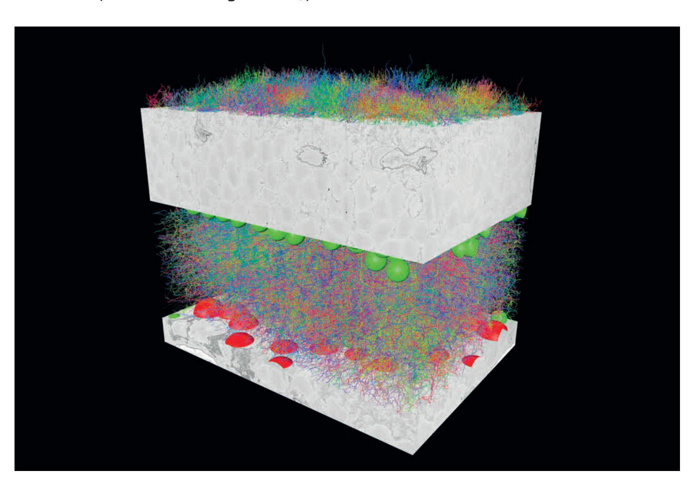
Zu diesem Ergebnis kommen Wissenschaftler unter Leitung des Max-Planck-Instituts für Sonnensystemforschung in Katlenburg-Lindau. Die Experten werteten Beobachtungsdaten aus, die Teleskope auf der Erde während der zurückliegenden drei Sonnenumläufe des Kometen aufgenommen hatten. Die Analysen lieferten bisher kein besonders genaues Bild des Kometen, da dieser in größerer Entfernung zur Sonne vor dem hellen Zentrum der Milchstraße erscheint und überstrahlt wird. Eine für die Suche von Exoplaneten entwickelte Methode schuf Abhilfe. Indem die Forscher aufeinanderfolgende Bilder voneinander subtrahierten, entfernten sie den hellen Hintergrund, und Churyumov-Gerasimenko trat klarer hervor. (Astronomy & Astrophysics, 20. August 2013)

Komet im Fokus: Die Aufnahme aus dem Jahr 2008 zeigt Churyumov-Gerasimenko im Abstand von 284,2 Millionen Kilometern zur Sonne.

Kabelsalat im Auge

Wissenschaftlern gelingt die vollständige Rekonstruktion eines Stücks der Netzhaut

Ein Geheimnis unseres Gehirns liegt in seiner Vernetzung. Jede seiner hundert Milliarden Nervenzellen ist über Tausende Kontaktstellen mit anderen Zellen verbunden. Forschern der Max-Planck-Institute für medizinische Forschung in Heidelberg und für Neurobiologie in Martinsried bei München ist nun ein erster Schritt auf dem Weg zur Entschlüsselung dieses Netzwerks gelungen. Sie haben ein exaktes Diagramm erstellt, das alle Nervenzellen und ihre Verbindungen in einem Stück der Netzhaut einer Maus zeigt. Einen Monat benötigten die Forscher, um die Daten zu sammeln, vier Jahre, um sie zu analysieren. Denn obwohl der Netzhautwürfel gerade mal einen zehntel Millimeter Kantenlänge hat, kommen darin knapp tausend Nervenzellen mit rund einer halben Million Verbindungen vor. Computeralgorithmen können die Fortsätze der Nervenzellen noch nicht zuverlässig genug über lange Strecken verfolgen. Deshalb mussten 200 Studenten die unzähligen Mikroskopbilder in 20000 Arbeitsstunden von Hand auswerten. Mit dem Onlinespiel Brainflight sollen Internetnutzer auf der ganzen Welt deshalb künftig Nervenbahnen nachfliegen können und so bei der Entwicklung besserer Algorithmen für die computergestützte Datenanalyse helfen. (Nature, 8. August 2013)



Rekonstruktion von 950 Nervenzellen und ihrer Verbindungen in einem Stück Netzhaut einer Maus. Die Kugeln zeigen die Zellkörper (rot: Ganglion-, grün: Amakrin-, blau: Bipolarzellen, grau: elektronenmikroskopische Aufnahme des Retinagewebes).



Die Blockade eines einzigen Signalwegs reicht aus, damit dem Plattwurm *Dendrocoelum lacteum* ein komplett neuer Kopf wachsen kann.

Kopfgeburt

Plattwürmer wie *Schmidtea mediterranea* sind nicht totzukriegen: Selbst in 200 Teile zerschnitten, wächst aus jedem Schnipsel wieder ein neuer Wurm. Ein naher Verwandter hingegen, *Dendrocoelum lacteum*, kann sich nicht so gut regenerieren. Diese Art kann auf Stücken, die aus der hinteren Körperhälfte stammen, keine neuen Köpfe wachsen lassen. Forscher am Max-Planck-Institut für molekulare Zellbiologie und Genetik in Dresden haben in den Zellen von *Dendrocoelum lacteum* einen Signalweg entdeckt, der verhindert, dass an den hinteren Körperteilen ein neuer Kopf entsteht. Die Forscher blockierten das Endprodukt dieses sogenannten Wnt-Signalwegs und stellten diesen dadurch ab. Selbst der abgeschnittenen Schwanzspitze von *Dendrocoelum lacteum* wuchs nun ein neuer, voll funktionsfähiger Kopf. Es können also bereits wenige Schaltstellen ausreichen, um die Regenerationsfähigkeit eines Organismus zu beeinflussen. (Nature, 25. Juli 2013)

Fotos: MPI für molekulare Zellbiologie und Genetik (oben rechts), MPI für Sonnensystemforschung (Mitte), MPI für medizinische Forschung – Kuhl & Denk (unten)

Wie kosmische Uhren **ticken**

Pulsare sind die kompaktesten Körper im Universum. Ihr Durchmesser entspricht etwa dem der Stadt München, doch beinhalten sie die Masse der Sonne. Diese extremen Verhältnisse machen sie zu idealen Testkörpern für die allgemeine Relativitätstheorie, wie **Michael Kramer** und seine Kollegen aus dem Bonner **Max-Planck-Institut für Radioastronomie** mit ihren Arbeiten beweisen.

TEXT **THOMAS BÜHRKE**

Die Geschichte beginnt Ende September 1967, als die 24-jährige Astronomiestudentin Jocelyn Bell mit einem neuen Radioteleskop Signale empfängt, die sich im Abstand von exakt 1,33730109 Sekunden wiederholen. Sie und ihr Doktorvater Antony Hewish nennen die Quelle scherzhaft Little Green Man (Kleines Grünes Männchen) und denken an Zeichen einer außerirdischen Zivilisation. Zumindest scheint das für Hewish die naheliegendste Erklärung für die rasche Folge von Radiopulsen aus dem Sternbild Füchschen zu sein.

Bald jedoch schließen Hewish und Bell Aliens als Ursache aus. Die Forscher kommen schließlich auf die richtige Erklärung: Es handelt sich um ein kompaktes Objekt, einen Neutronenstern, der extrem schnell rotiert. Er besitzt einen Durchmesser von etwa 20 Kilometern, beinhaltet aber etwa die Masse unserer Sonne. Damit sind Neutronensterne die am stärksten verdichteten Himmelskörper: Ein Stück Materie von der Größe eines Stücks Würfelzucker würde auf der Erde rund eine Milliarde Tonnen wiegen.

Außerdem ist ein Neutronenstern von einem starken Magnetfeld umgeben, das – ähnlich wie jenes der Erde – im Wesentlichen eine bipolare Struktur besitzt. Entlang der Magnetfeldachse senden diese Körper innerhalb eines engen Kegels Strahlung aus. Wenn Rotations- und Magnetfeldachse zueinander geneigt sind, streift der Strahl wie bei einem Leuchtturm durchs All. Trifft er dabei zufällig auf die Erde, so registriert man kurze Pulse, deren Frequenz der Rotationsfrequenz des Himmelskörpers entspricht. Neutronensterne, die sich auf diese Weise bemerkbar machen, heißen Pulsare.

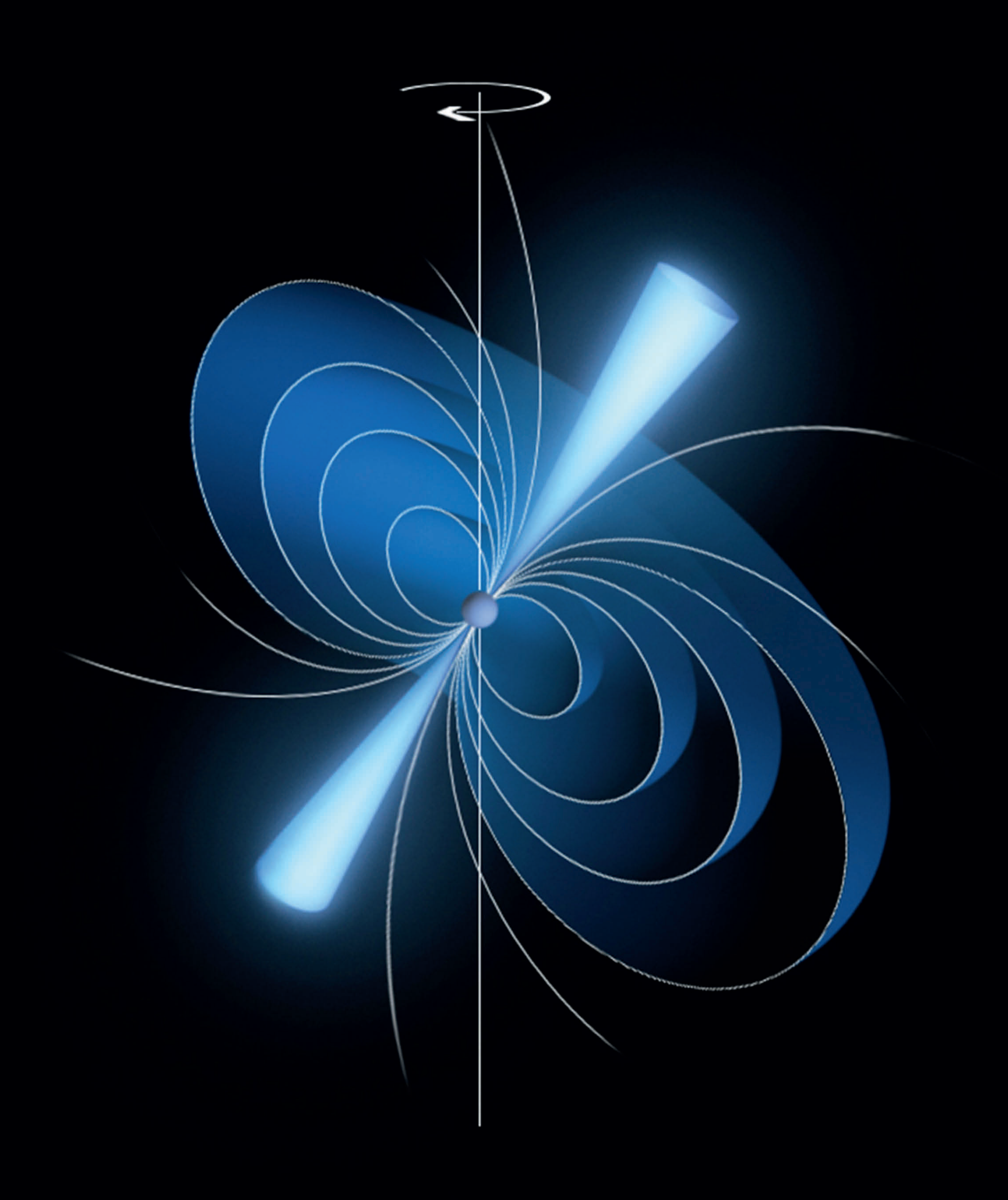
700 UMDREHUNGEN IN DER SEKUNDE

„Wir kennen heute rund 2200 Pulsare mit Perioden zwischen 1,4 Tausendstelsekunden und 8,5 Sekunden“, sagt Michael Kramer, der sich seit zwei Jahrzehnten mit der Physik dieser kosmischen Leuchttürme beschäftigt und heute Direktor am Max-Planck-Institut für Radioastronomie in Bonn ist. Der schnellste Pulsar wirbelt also mehr als 700-mal pro Sekunde um die eigene Achse. Die theoretische Höchstgrenze liegt bei etwa 2000 Umdrehungen pro Sekunde; wäre er noch schneller, so würden ihn die Fliehkräfte zerreißen.

In den vergangenen Jahrzehnten ließen sich Pulsare in allen Bereichen des elektromagnetischen Spektrums – von den Radiowellen bis hin zum Gammabereich – nachweisen. Dennoch ist nicht in allen Details geklärt, wie die Strahlung entsteht. Zu Beginn dieses Jahres beobachtete eine internationale Kollaboration unter Beteiligung der Bonner Max-Planck-Gruppe erstmals eine unerwartete Korrelation zwischen Radio- und Röntgenpulsen: Wenn die Radiopulse stark sind, ist die Röntgenstrahlung schwach – und umgekehrt.

Dieser Wechsel erfolgt erstaunlicherweise innerhalb von Sekunden. Danach verharrt das Ganze für einige Stunden stabil in dem neuen Zustand. Dieses wechselhafte Verhalten erklären die Astronomen damit, dass die beiden Strahlungsarten in unterschiedlichen Bereichen entstehen. >

Foto: ESA medialab



Scheinwerfer im All: Ein Neutronenstern rotiert rasch um seine Achse und sendet dabei Strahlung aus, die wie der Kegel eines Leuchtturms den Raum überstreicht. Etwa 2200 solcher Pulsare kennen die Astronomen heute.



Im Innern einer Riesenschüssel: Mit einem Durchmesser von 100 Metern gehört das Radioteleskop in Effelsberg zu den größten Anlagen seiner Art. Michael Kramer (links) und sein Kollege Norbert Wex nutzen das Instrument für ihre Forschungen.

„An der Oberfläche des Pulsars ist die vom Magnetfeld induzierte elektrische Kraft einige Hundertmilliarden Mal stärker als die Schwerkraft“, sagt Kramer. Dadurch werden Elektronen aus der Oberfläche herausgezogen und vom Magnetfeld eingefangen. Die Bedingungen sind so extrem, dass sich auch Positronen (Antielektronen) mit positiver Ladung bilden. Diese rasen zurück zur Oberfläche und erhitzen diese beim Aufprall auf Millionen von Grad. Die Folge: An beiden Magnetpolen entsteht ein wenige Kilometer großer Hotspot, der Röntgenstrahlung aussendet.

HÖLLISCHES SZENARIO MIT WIRBELNDEM PLASMA

Die Elektronen dagegen bleiben in dem Magnetfeld gefangen und wirbeln mit dem Pulsar herum. Das Plasma rotiert umso schneller, je weiter es vom Pulsar entfernt ist. „In dem Abstand, wo es nahezu Lichtgeschwindigkeit erreichen würde, öffnen sich die Magnetfeldlinien in den Raum, die Elektronen schießen in zwei Kegeln ins All und senden dabei Radiostrahlung aus“, sagt Kramer, während er dieses höllische Szenario gelassen auf einem Blatt Papier skizziert.

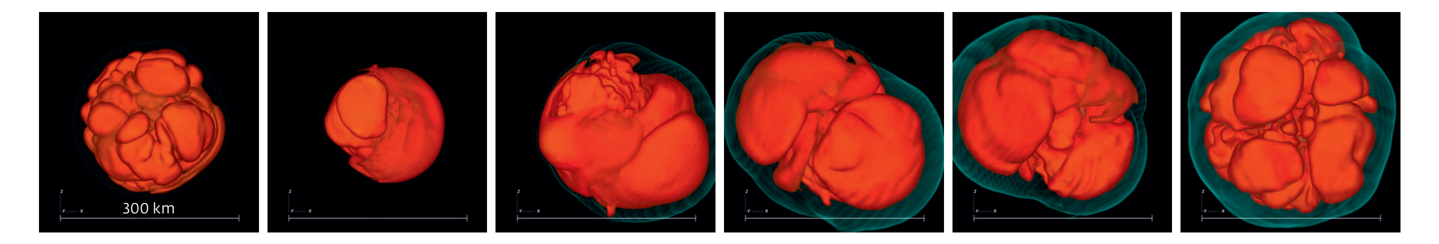
Als Grund für die jüngste Beobachtung des Wechsels zwischen gepulster Radio- und Röntgenstrahlung nennen die Forscher Umordnungen der rund 100000 Kilometer großen Magnetosphäre binnen weniger Sekunden. Auf welche Weise das genau geschieht und was diese auslöst, ist nicht abschließend geklärt. Interessant erscheint aber, dass die meisten Pulsare trotz solcher Änderungen extrem genau ticken. Die Regelmäßigkeit, mit der die Pulse auf der Erde ankommen, kann durchaus die Präzision von Atomuhren erreichen.

Das macht Pulsare zu den Himmelskörpern, die am besten geeignet sind, um an ihnen Einsteins allgemeine Relativitätstheorie zu testen. Und genau dieser Aufgabe hat sich die Bonner Abteilung Radioastronomische Fundamentalphysik unter der Leitung von Michael Kramer verschrieben. Vielleicht gelingt mit ihnen sogar der erste direkte Nachweis von Gravitationswellen. Aber der Reihe nach.

Als Albert Einstein Ende 1915 seine allgemeine Relativitätstheorie vollendet hatte, war die Schwerkraft – auch Gravitation genannt – keine Kraft mehr, sondern eine geometrische Eigenschaft von Zeit und Raum. Himmelskörper krümmen den Raum um sich herum, ähnlich wie Kugeln ein gespanntes Tuch eindellen. Gerät ein anderer Körper in ein solches Gebiet, so weicht er vom geraden Weg ab und folgt der Krümmung. Dasselbe gilt für Licht. Zudem verläuft die Zeit nahe an einem Stern – also im Bereich großer Krümmung – langsamer als im freien, ebenen Raum.

Bisher hat Einsteins Theorie sämtliche Prüfungen bestanden. Sehr genaue Tests gestalten sich allerdings schwierig, weil die Effekte verhältnismäßig schwach ausfallen. In unserem Sonnensystem wurde die allgemeine Relativi-

Foto: Frank Vinken



Stellare Turbulenzen: Mit einer dreidimensionalen Computersimulation stellen Forscher aus dem Max-Planck-Institut für Astrophysik die Entwicklung eines Neutronensterns zu sechs Zeitpunkten (0,154, 0,223, 0,240, 0,245, 0,249 und 0,278 Sekunden, von links) dar. Dabei bilden sich charakteristische pilzartige Blasen, in denen neutrinogeheiztes Gas „kocht", während die sogenannte Akkretionsstoßinstabilität gleichzeitig wilde Pulsationen und Drehbewegungen der gesamten geheizten Materieschicht (rot) und der einhüllenden Supernovastoßwelle (blau) verursacht.

tätstheorie auf unterschiedliche Weise überprüft, doch gerade in Bereichen starker Gravitation – sprich starker Krümmung – ist sie bislang nur sehr selten auf die Probe gestellt worden. Pulsare bieten dafür als kompakteste bekannte Himmelskörper einzigartige Möglichkeiten. Nur schwarze Löcher könnten sie noch toppen.

Für solche Tests benötigen die Astronomen Pulsare in Doppelsternsystemen. Rund jeder Zehnte von ihnen besitzt einen Begleiter, doch nicht alle solche Systeme sind geeignet. Die meisten Doppelsternsysteme bestehen aus einem Pulsar und einem weißen Zwerg, einem ausgebrannten Stern, der bis auf die Größe der Erde geschrumpft ist. Da ein weißer Zwerg bei Weitem nicht so kompakt ist wie ein Neutronenstern, erzeugt er auch keine sehr starke Raumkrümmung. Am besten eignen sich daher Systeme aus einem Pulsar und einem weiteren Neutronenstern. Hiervon kennen die Forscher etwa zehn.

Den absoluten Favoriten entdeckten Astronomen mit dem Parkes-Radioteleskop in Australien im Jahr 2003: das erste und bisher einzige System, das aus zwei Pulsaren besteht. „Es ist für uns wirklich ein Glücksfall, denn die beiden Pulsare sind nicht nur wie zwei extrem genau gehende Uhren, sondern sie besitzen zufällig auch noch einige besonders günstige Eigenschaften", sagt Kramers Kollege Norbert Wex, Experte für die Relativitätstheorie.

Beide Körper sind ungefähr gleich schwer und beinhalten 1,3 Sonnenmassen. Der eine von ihnen benötigt für eine Umdrehung um die eigene Achse 23 Tausendstelsekunden, der andere 2,8 Sekunden. Ihr gegenseitiger Abstand von 900 000 Kilometern ist sehr gering und entspricht gut der doppelten Entfernung des Mondes von der Erde. Während der Mond aber für eine Umrundung 28 Tage benötigt, umkreisen sich die beiden Pulsare in nicht einmal zweieinhalb Stunden – mit einer Geschwindigkeit von rund einer Million Stundenkilometern.

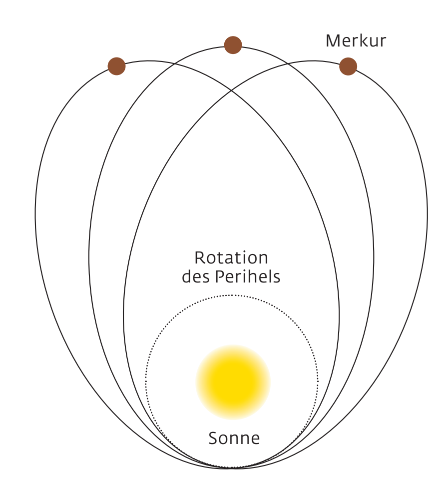
LAKMUSTEST FÜR DIE RELATIVITÄTSTHEORIE

Michael Kramer und seine Kollegen gehören einer internationalen Gruppe von Radioastronomen an, die diesen Doppelpulsar regelmäßig beobachten und damit Einsteins Theorie auf Herz und Nieren prüfen. Zum Beispiel dreht sich die Umlaufbahn der beiden Pulsare im Raum. Dieser Effekt tritt in unserem Sonnensystem besonders stark bei dem innersten Planeten Merkur auf.

Die Erklärung dieser sogenannten Periheldrehung war der erste Triumph von Einsteins Theorie. Doch während diese bei Merkur drei Millionen Jahre für eine komplette Periode benötigt, dauert sie bei dem Doppelpulsar nur 21 Jahre – ein klares Indiz dafür, um wie viel stärker die Effekte der Relativitätstheorie in diesem System sein müssen.

Außerdem haben die Astronomen Glück, dass sie fast exakt auf die Kante der Bahn schauen. Deshalb stehen die beiden Pulsare bei jedem Umlauf nahezu exakt hintereinander. In dieser Situation läuft das Signal des hinteren Pulsars in nur 20 000 Kilometer Entfernung am vorderen vorbei. Da es hierbei die Raummulde durchqueren muss, verlängert sich der Weg – was sich in einer Verzögerung der Ankunftszeit der Pulse um eine Zehntausendstelsekunde zeigt. Wegen des extremen Gleichlaufs der beiden Pulsaruhren lässt sich dieser Effekt präzise messen.

Die Forscher haben mittlerweile weitere, von der allgemeinen Relativitätstheorie vorhergesagte Phänomene registriert. Alle diese Ergebnisse bestätigen die Theorie bis auf einige Promille



In Bewegung: Der sonnennächste Bahnpunkt (Perihel) des Planeten Merkur bleibt nicht fix im Raum, sondern wandert. Diese Periheldrehung hat Einstein präzise vorhergesagt.

Visualisierung: Elena Erastova und Markus Rampp, RZG; Grafik: designergold nach einer Vorlage des MPI für Radioastronomie (rechts)



genau. Einstein postuliert zudem, dass zwei einander umkreisende Himmelskörper Gravitationswellen abstrahlen, die sich mit Lichtgeschwindigkeit ausbreiten. In der Analogie zu dem eingedellten Tuch lassen sie sich als Wellen veranschaulichen, die vom Doppelpulsar, vereinfacht gesagt, in konzentrischen Wellen ausgehen – ähnlich wie die Wellen auf der Wasseroberfläche eines Sees, in den man einen Stein geworfen hat.

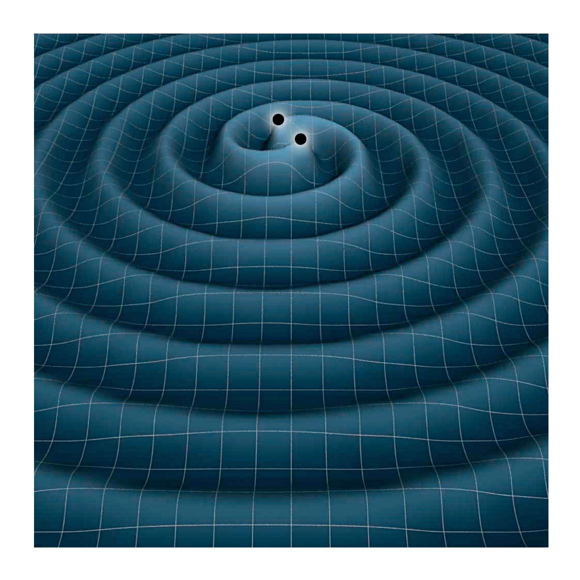
Durch das Abstrahlen von Gravitationswellen verlieren die beiden Körper einen Teil ihrer Bahnenergie. Als Folge davon nähern sie sich einander auf einer spiralförmigen Bahn langsam an. „Wir haben herausgefunden, dass sich der Orbit auf diese Weise um jährlich 7,12 Millimeter verkleinert", sagt Kramer und fügt schmunzelnd hinzu: „Mit einer Unsicherheit von neun tausendstel Millimetern." Diese unglaubliche Präzision führt zu der Vorhersage, dass die beiden Körper in 85 Millionen Jahren kollidieren und in einem gigantischen Feuerball miteinander verschmelzen werden.

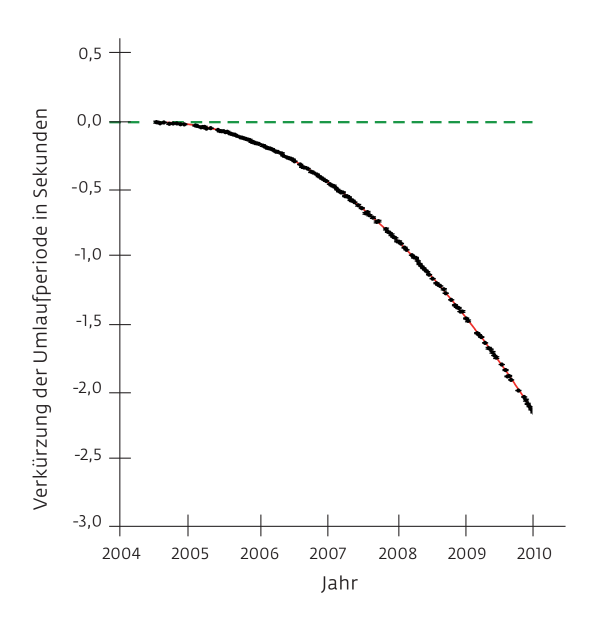
Schon vor mehr als zwanzig Jahren haben die amerikanischen Astronomen Russell Hulse und Joseph Taylor bei einem anderen Doppelsternsystem mit nur einem Pulsar anhand der Abnahme der Umlaufzeit auf indirekte Weise Gravitationswellen nachgewiesen. Dafür wurden sie 1993 mit dem Physik-Nobelpreis geehrt. Die neuen Messdaten des Doppelpulsars sind aber noch genauer und eignen sich besonders gut zum Test alternativer Theorien zu Einsteins Jahrhundertwerk.

Bekanntestes Beispiel einer dieser Alternativen dürfte wohl die sogenannte MOND-Theorie (Modifizierte newtonsche Dynamik) des israelischen Physikers Mordehai Milgrom sein. Der hatte bereits vor dreißig Jahren das newtonsche Gravitationsgesetz so abgeändert, dass es die Rotation von Spiralgalaxien ohne die Annahme der hypothetischen Dunklen Materie erklärt. Der Theoretiker Jacob Bekenstein hat dann vor etwa

Lagebesprechung: Im Kontrollraum des Effelsberger Radioteleskops (im Hintergrund) diskutieren Norbert Wex (links) und Michael Kramer die Ergebnisse ihrer Messungen.

Foto: Frank Vinken





Pas de deux im All: Wenn zwei Neutronensterne um einen gemeinsamen Schwerpunkt tanzen, strahlen sie Gravitationswellen ab (links). Weil beide Körper dadurch ständig einen Teil ihrer Bewegungsenergie verlieren, nähern sie sich einander auf einer spiralförmigen Bahn langsam an, und ihre Umlaufperiode wird kürzer. Das Diagramm rechts zeigt die Verhältnisse bei dem Doppelpulsar PSR J0737-3039.

zehn Jahren Milgroms Theorie eine relativistische Form gegeben, indem er zusätzlich zur Raumkrümmung zwei weitere Hilfsfelder einführte.

AUF DER JAGD NACH GRAVITATIONSWELLEN

Bekensteins Alternative namens TeVeS weicht von der einsteinschen Theorie in der Vorhersage der abgestrahlten Gravitationswellen vor allem in starken Feldern ab. Deswegen eignet sich der Doppelpulsar in einzigartiger Weise für die Nagelprobe. Das Ergebnis ist eindeutig: Die Messwerte stimmen bis auf 0,05 Prozent mit der Vorhersage der allgemeinen Relativitätstheorie überein. Bekenstein kann diese nur dann erklären, wenn er sehr spezielle, unphysikalische Bedingungen annimmt. „Aus unserer Sicht ist TeVeS damit widerlegt", fasst Norbert Wex die Ergebnisse zusammen.

Einmal mehr also hat Einstein alle Tests mit Bravour bestanden. Doch die Bonner Max-Planck-Astronomen steuern ein weiteres großes Ziel an – den direkten Nachweis von Gravitationswellen. Und der geht so: Eine Gravitationswelle staucht und dehnt den von ihr durchquerten Raum. Dabei verkürzen und verlängern sich kurzzeitig die Abstände im Raum. Solche Mikroverwerfungen versuchen Physiker schon seit einigen Jahren mit Laserinterferometern zu messen. Eines dieser im weltweiten Verbund arbeitenden Instrumente namens Geo600 befindet sich in der Nähe von Hannover und wird vom Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik betrieben.

Diese Geräte sind für Gravitationswellen mit Frequenzen zwischen einigen zehn und tausend Hertz ausgelegt, entsprechend Wellenlängen zwischen 100 und 10 000 Kilometern. Sie sollten vorwiegend von verschmelzenden Neutronensternen und von schwarzen Löchern sowie explodierenden Sternen (Supernovae) stammen. Diesen Bereich wollen die Bonner Radioastronomen zusammen mit Kollegen aus aller Welt im Rahmen des Pulsar Timing Array ergänzen, und zwar in der Größenordnung von Nanohertz, also bei Wellenlängen von einigen zehn Lichtjahren.

Hier erwarten die Forscher Signale von zwei verschmelzenden, supermassereichen schwarzen Löchern, wie sie in den Zentren von Galaxien existieren. „Im jungen Universum, als die Sternsysteme noch näher beisammen waren, sollte es häufiger zu Kollisionen und dem Verschmelzen schwarzer Löcher gekommen sein", sagt Michael Kramer. Doch wie kann man das mit Pulsaren feststellen?

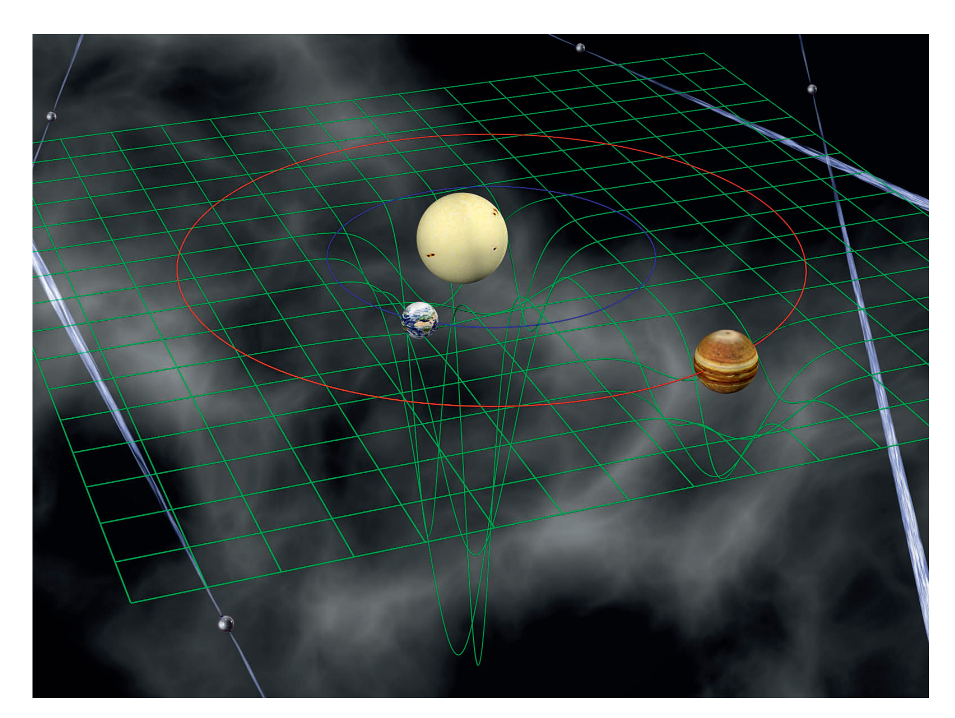
Nähert sich eine Gravitationswelle der Erde, so verzerrt sie den Raum in der Umgebung des Sonnensystems und verändert die Abstände zwischen den ankommenden Pulsarsignalen. Aufgrund einer besonderen Eigenart dieser Wellen wird die Entfernung in der einen Richtung verkürzt und in der Richtung senkrecht dazu vergrößert. Das äußert sich in einer Änderung der Ankunftszeiten der Pulsarsignale, die am Himmel korreliert ist: Während die Signale aus der einen Richtung früher eintreffen als im Normalfall, kommen die Signale aus einem um 90 Grad versetzten Himmelsbereich später an.

KOSMISCHE LEUCHTTÜRME ERHELLEN DIE ASTRONOMEN

Die Astronomen benötigen für ihre Suche nach Gravitationswellen rund vierzig Pulsare mit maximaler Ganggenauigkeit am gesamten Himmel. Bisher beobachten sie etwa dreißig, um deren Genauigkeit im Laufe des Experiments zu bestimmen. Um weitere kosmische Leuchttürme aufzuspüren, arbeiten die Bonner Forscher intensiv mit dem Kollegen Holger Pletsch vom Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik in Hannover zusammen.

Pletsch, frischgebackener Heinz Maier-Leibnitz-Preisträger, hat eine Methode

Fotos: NASA (links), MPI für Radioastronomie- Michael Kramer



Das Sonnensystem auf der Waage: Die Massen von Sonne und Planeten krümmen den Raum und beeinflussen so die Ankunftszeit von Pulsarsignalen auf der Erde. Über die Korrektur der Zeitfehler der Pulsarsignale lassen sich die Massen der Planeten mit hoher Genauigkeit abschätzen. Das Messverfahren ist kompliziert, die Raumkrümmung hier nur schematisch dargestellt.

entwickelt, um die riesigen Datenmengen der Gravitationswellendetektoren wie GEO600 zu analysieren. Doch mit ihr kann man auch in den Daten der Radioteleskope die Piepser der Pulsare aufspüren. „Auf diese Weise haben wir schon mehr als zehn weitere Pulsare gefunden", sagt Kramer.

DIE RAUMKRÜMMUNG IST NICHT ZU VERNACHLÄSSIGEN

Allerdings eignen sich nur wenige Pulsare für dieses Vorhaben, denn die Forscher müssen die Pulse über Jahre hinweg mit einer Genauigkeit von weniger als 100 Nanosekunden aufzeichnen. Außerdem müssen sie die Raumkrümmung berücksichtigen, welche die Körper in unserem Sonnensystem verursachen. Auch sie verzögert die Ankunftszeit der Signale. Kennt man etwa die Masse des Planeten Jupiter nicht genau genug, ist auch der Schwerpunkt des Sonnensystems nicht exakt bekannt. Als Folge davon schwanken die ermittelten Ankunftszeiten genau mit Jupiters Bahnperiode.

Aus diesem Grund hat ein internationales Team unter der Leitung von Kramers Kollegen David Champion eine genaue Messung der Massen der Riesenplaneten vorgenommen. „Dadurch konnten wird zum ersten Mal Planeten inklusive aller Monde und Ringe komplett wiegen", sagt Champion. Und das mit einer Präzision, wie sie sich bisher nur mit Raumsonden erzielen ließ.

Zurzeit nutzen die Radioastronomen für das Pulsar Timing Array mehrere weltweit verteilte Antennen, darunter das 100-Meter-Radioteleskop in Effelsberg. Vom nächsten Jahrzehnt an wird ihnen das neue Square Kilometre Array (SKA) zur Verfügung stehen, das in Südafrika und Australien entsteht. Im Endausbau soll es hundertmal empfindlicher sein als der Riese von Effelsberg.

„Wenn wir mit dem SKA keine Gravitationswellen nachweisen, ist etwas faul", sagt Michael Kramer. In diesem Fall würden entweder die Modelle der Kosmologen über das Verschmelzen von schwarzen Löchern im jungen Universum nicht stimmen, oder Albert Einstein hätte mit der Vorhersage der Gravitationswellen doch nicht recht gehabt. Die zweite Möglichkeit halten die Bonner Radioastronomen jedoch für nahezu ausgeschlossen. ◂

AUF DEN PUNKT GEBRACHT

- **Rund 2200 Pulsare – kompakte Neutronensterne – kennen die Astronomen bisher.**
- **Aufgrund ihrer großen Schwerkraft und der einzigartig präzisen Rotation eignen sich Pulsare für allerlei physikalische Tests.**
- **Forscher überprüfen etwa Aussagen der allgemeinen Relativitätstheorie oder testen alternative Modelle zu Einsteins Gedankengebäude.**
- **Pulsare dienen auch zum direkten Nachweis von Gravitationswellen, die bisher aber noch nicht gefunden wurden.**

GLOSSAR

Allgemeine Relativitätstheorie (ART): Die 1915 von Albert Einstein (1879 bis 1955) vorgelegte Theorie beschreibt die Wechselwirkung zwischen Materie sowie Raum und Zeit. Eine zentrale Rolle in der ART spielt die Gravitation, die als geometrische Eigenschaft der gekrümmten vierdimensionalen Raumzeit gilt.

GEO600: Die Anlage auf einem Feld bei Ruthe nahe Hannover besteht aus zwei jeweils 600 Meter langen, mit Wellblech abgedeckten Gräben. Darin laufen die Strahlen eines Lasers, die an den Enden der Röhren reflektiert werden, am Strahlteiler wieder zusammenlaufen und dort auf einen Detektor treffen. Gehen Gravitationswellen durch die Anlage, wird die Raumzeit gestaucht, und das Licht weist winzige, aber messbare Laufzeitunterschiede auf.

Neutronenstern: Hat ein Stern seinen Brennstoff verbraucht, setzt die Energieproduktion aus. Der Gasdruck verschwindet, und die Schwerkraft lässt den inneren Teil des Sterns in Bruchteilen von Sekunden in sich zusammenstürzen. Beträgt die Masse dieses Kerns zwischen 1, 4 und etwa 3 Sonnenmassen, so bildet sich ein Neutronenstern. Masseärmere Sterne enden als weiße Zwerge, schwerere als schwarzes Loch. Die äußere Hülle wird ins All abgesprengt und leuchtet als Supernova auf.

Square Kilometre Array (SKA): Das Square Kilometre Array ist ein Radioteleskop mit einer Gesamtsammelfläche von rund einem Quadratkilometer. Seine Empfindlichkeit soll jene herkömmlicher Antennen um ein Vielfaches übertreffen. Außerdem werden die Astronomen mit der Anlage den Himmel zehntausendfach schneller absuchen können als bislang. Das SKA wird in Südafrika und Australien gebaut und soll 2023 komplett fertiggestellt sein.

Anzeige

Sonderpreis für technologische Gründungsidee zu gewinnen!

Anmeldung zur Teilnahme an start2grow 2014 ab sofort möglich.

Technologie und Forschung werden in Dortmund groß geschrieben: Dies belegt einmal mehr der bundesweit ausgelobte Gründungswettbewerb start2grow 2014. Unter dem Motto „Wir machen Sie fit für Ihre Gründung!" unterstützt start2grow technologieorientierte Gründerinnen und Gründer aus ganz Deutschland dabei, ihre Ideen und Forschungsergebnisse in einen realisierbaren Businessplan zu überführen. „Das Ziel des start2grow-Wettbewerbs reicht jedoch weiter als bis zur Erstellung eines Businessplans. Wir begleiten die Gründerinnen und Gründer bis an den Start des eigenen Unternehmens", erläutert Sylvia Tiews, Teamleiterin von start2grow.

Im Rahmen des Gründungswettbewerbs gibt es ein vielfältiges Angebot: Mehr als 600 ehrenamtliche Coaches - selbstständig tätig oder als Experten aus Unternehmen entsandt - vermitteln den Teilnehmern Wissen und wertvolle Kontakte zu Partnern aus den Bereichen Wirtschaft, Wissenschaft und Kapital. In zwei Phasen des Wettbewerbs gibt es hohe Geld- und Sachpreise zu gewinnen. „Der Sonderpreis „Technologie" wird für eine innovative, technologieorientierte Geschäftsidee vergeben", erläutert Sylvia Tiews. „Das Preisgeld von 30.000 EUR können die Gewinner nutzen, um Dienstleistungen der Dortmunder Kompetenzzentren, z.B. der MST.factory dortmund, dem BioMedizinZentrumDortmund oder dem Zentrum für Produktionstechnologie, in Anspruch zu nehmen, in Büros einzuziehen oder spezielle Infrastruktureinrichtungen wie Labore, Reinräume oder Maschinen zur Entwicklung von Prototypen zu mieten". Gründerinnen und Gründer aus ganz Deutschland sind herzlich eingeladen in Dortmund aktiv zu werden - mit einem potenzialträchtigen Businessplan können sie den Sonderpreis gewinnen.

Ergänzt werden diese Angebote durch ein innovatives Umfeld: In Dortmund finden sich namhafte Unternehmen, international renommierte und spezialisierte Forschungsinstitute sowie technisch orientierte Hochschulen mit einer Vielzahl von Lehrstühlen und Nachwuchskräften. Unterschiedliche Fachdisziplinen laden regelmäßig zu Expertengesprächen, Fachkonferenzen und Messen ein. Entwickler, Entscheider und Innovatoren aus ganz Europa tauschen sich in Dortmund aus. Durch dieses Spektrum an Angeboten ist Dortmund zu einem innovativen Hightech-Standort gewachsen. www.hightech-guide-dortmund.de

Gründungswettbewerb start2grow

„Wir machen Sie fit für Ihre Gründung!" Unter diesem Motto unterstützt der start2grow-Wettbewerb Gründerinnen und Gründer aus ganz Deutschland dabei, ihre Geschäftsideen in die Tat umzusetzen. Beim Gründungswettbewerb stehen mehr als 600 ehrenamtliche Coaches bereit, um die Teilnehmer mit Wissen und wertvollen Kontakten zu unterstützen. Mehr als 4.000 Teams haben an den bislang 31 Wettbewerben teilgenommen. Erfolgsbilanz: Über 900 Unternehmen wurden erfolgreich gegründet und haben mehr als 5.200 Arbeitsplätze geschaffen. Der Gründungswettbewerb, als einziger deutschlandweit nach ISO 9001 für sein Qualitätsmanagement zertifiziert, steht Gründungsideen aus allen Branchen offen, zusätzliche Angebote gibt es für die Sonderdisziplin „Technologie". start2grow ist eine Initiative des dortmund-project, eines Geschäftsbereichs der Wirtschaftsförderung Dortmund.

www.start2grow.de

Kontakt:
Sylvia Tiews, Wirtschaftsförderung Dortmund
Töllnerstraße 9-11, 44122 Dortmund
Telefon-Hotline: 0800 – 4 782 782 (unentgeltlich aus dem dt. Festnetz und den Mobilfunknetzen)



Sie haben eine zündende Geschäftsidee? Mit dem Gründungswettbewerb start2grow 2014 starten Sie erfolgreich durch!

Bundesweiter Wettbewerb:

- Kostenfreie Teilnahme
- Hohe Geld- und Sachpreise
- Netzwerk mit mehr als 600 Coaches
- Alle Branchen plus Sonderdisziplin „Technologie"

Start ab 11. November 2013. Jetzt anmelden: www.start2grow.de



Im Schatten der **Tuberkulose**

Ein Ort, an dem unangenehme Zeitgenossen wie Chlamydien, HI-Viren oder Tuberkulosebakterien im Zentrum stehen: das **Max-Planck-Institut für Infektionsbiologie** in Berlin. Vor 20 Jahren hat es **Stefan H. E. Kaufmann** als Gründungsdirektor mit aufgebaut. Seitdem erforscht der Wissenschaftler Stärken und Schwächen des Tuberkelbazillus. Die moderne Tuberkuloseforschung ist ohne ihn nicht denkbar – und er nicht ohne sie.

TEXT **CATARINA PIETSCHMANN**

Zwei Milliarden Infizierte weltweit, bei jedem Zehnten wird die Krankheit ausbrechen – ein altes Schreckgespenst ist wieder aufgetaucht: die Tuberkulose. Aber wie kann das sein? War diese Lungenkrankheit nicht eine Geißel des 19. und beginnenden 20. Jahrhunderts? „Das stimmt, doch die Tuberkulose war niemals wirklich weg, sondern nur von unserem Radar verschwunden“, sagt Stefan Kaufmann, Direktor der Abteilung Immunologie des Max-Planck-Instituts für Infektionsbiologie in Berlin. Jetzt ist die Schwindsucht zurückgekehrt, der Thomas Mann in seinem „Zauberberg“ literarisch ein Denkmal setzte. Und mit ihr Bilder von ausgemergelten Menschen, die sich buchstäblich die Lunge aus dem Leib husten.

Und die hoch gepriesene moderne Medizin? Sie steht mit fast leeren Händen da. „Wir haben einen knapp hundert Jahre alten Impfstoff, der kaum schützt, und Antibiotika, die resistenten Bakterienstämmen zunehmend machtlos gegenüberstehen. Und es gibt keine Tests für die Unterscheidung von infizierten Menschen, die nicht erkranken werden, und solchen, bei denen die Krankheit ausbrechen wird.“

HISTORISCHER ORT

Kaufmann ist einer der weltweit führenden Infektionsbiologen. Kaum jemand kennt sich mit Tuberkulose so umfassend aus wie der 65-Jährige. Dass sein Büro auf dem Charité-Campus in Berlin liegt, nur wenige Schritte entfernt von der Luisenstraße, wo Robert Koch 1882 den Tuberkuloseerreger *Mycobacterium tuberculosis* entdeckte, ist kein Zufall „Das ist einer der Vorteile, wenn man Gründungsdirektor ist“, sagt Kaufmann lächelnd. „Man hat einen gewissen Einfluss auf den Standort.“ Als die Wende kam, lagen die Pläne für ein infektionsbiologisches Max-Planck-



Die Tuberkulose ist eine Krankheit der Armut. Stefan Kaufmann kämpft deshalb auf wissenschaftlicher und politischer Ebene gegen sie an.

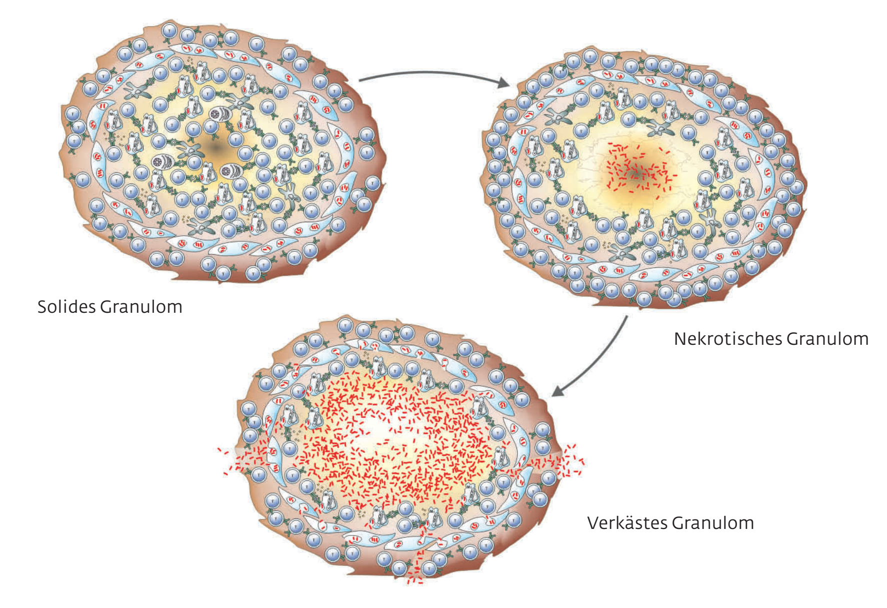


Foto: Jonas Steengard

Institut bereits fertig in der Schublade. Kaufmann plädierte für eine Großstadt – schon wegen der Nähe zu großen Kliniken. Und warum dann nicht gleich die Hochburg der frühen Infektionsforscher?

Immer und immer wieder hatte Robert Koch gegen Ende des 19. Jahrhunderts Gewebe infizierter Meerschweinchen untersucht. Erst nach zahlreichen Versuchen gelang es ihm, die stäbchenförmigen Tuberkulosebakterien anzufärben und sichtbar zu machen. Zu dieser Zeit starb in Berlin, Paris und London jeder Dritte an der Schwindsucht. Seit 1950 gehen die Zahlen in Deutschland kontinuierlich zurück, doch noch immer werden mehr als 4000 Fälle pro Jahr gemeldet. „Tuberkulose ist eine Armutskrankheit, die viel mit Sozialhygiene zu tun hat. Aus diesem Grund kehrte sie auch nach beiden Weltkriegen wieder zurück. Als sie bei uns in Europa verschwand, haben wir leider den Rest der Welt aus den Augen verloren“, sagt Kaufmann.

Viele Menschen auf engstem Raum plus katastrophale hygienische Verhältnisse – das bedeutet Wohlfühlambiente für Tuberkelbazillen. Mit Beginn der Verstädterung in den ärmeren Ländern verbreitete sich der Erreger wie ein Buschfeuer in Slums und Townships, etwa im Süden Afrikas. Wie einst die Kohlegruben in Großbritannien und Deutschland wurden dort Gold- und Edelsteinminen zu einem Eldorado nicht nur für Glückssucher, sondern auch für Krankheitserreger. „Aus der gesamten Subsahara kommen dort Menschen zusammen, um zu arbeiten. Einsame Männer, die zu Prostituierten gehen und sich zusätzlich noch mit HIV infizieren“, sagt Kaufmann. HIV



Die unterschiedlichen Stadien eines Tuberkulose-Granuloms: Solide Granulome können den Tuberkuloseerreger erfolgreich eindämmen. Nekrotische Granulome bilden einen Kern aus zerfallenen Zellen, in dem sich der Erreger vermehrt. Verkäste Granulome verlieren sämtliche Strukturen, zerfallene Wirtszellen und abgestorbene Keime bilden einen ausgezeichneten Nährboden für *Mycobacterium tuberculosis*. Die frei werdenden Erreger gelangen in die Lunge und können durch Tröpfcheninfektion leicht übertragen werden.

Fotos und Grafik: Jonas Steengard (oben), MPI für Infektionsbiologie (unten)

linke Seite | Krankensaal einer städtischen Klinik in Durban. Die Ärzte kümmern sich mit viel Engagement um die Patienten. Lange Wartezeiten verschlechtern jedoch die Heilungschancen.

unten links | Das Global Clinical & Viral Laboratory in Durban besitzt eine hochmoderne Ausrüstung zur Untersuchung von Infektionskrankheiten. Stefan Kaufmann testet hier seine Biomarker-Kandidaten.

unten rechts | Ein junger Patient in einer Privatklinik in Durban. An dieser ausgezeichnet geführten Klinik werden Patienten mit HIV und Tuberkulose rund um die Uhr medizinisch und psychologisch betreut. Die Patienten müssen dazu einen Unkostenbeitrag leisten, sodass sie die Behandlung sehr ernst nehmen.





und Tuberkulose – ein Duo infernale. Denn HIV schwächt das Immunsystem. Und dann blüht die Tuberkulose erst so richtig auf, jetzt kann aus einer latenten Infektion eine akute Krankheit entstehen. HIV hatte also die Tuberkulose förmlich im Schlepptau.

DIE KRANKHEIT IST AUF DEM VORMARSCH

Indien und China haben ebenfalls ein riesiges Tuberkuloseproblem, und in den 1990er-Jahren kam Osteuropa dazu. Mit der Sowjetunion zerbrach auch deren bis dato recht gut funktionierendes Gesundheitssystem, und der Erreger konnte sich in ganz Osteuropa ausbreiten. Brutstätten sind unter anderem die überfüllten russischen Gefängnisse: Jeder zehnte Häftling leidet an einer hochansteckenden offenen Tuberkulose.

Mycobacterium tuberculosis ist raffiniert. „Er ist zwar ein träger Bursche und teilt sich nur alle sechzehn Stunden, dafür hat er sich die effektivsten Übertragungswege ausgesucht: Tröpfchen- und Schmierinfektionen." Einmal eingeatmet, gelangen die Erreger in die Lunge und werden dort vom Immunsystem gestellt. Fresszellen rücken an und umzingeln die Bazillen – töten sie aber nicht. Weitere Helferzellen bilden einen festen Wall und kapseln sie in sogenannten Granulomen ein.

Keine angenehme Situation für die Mikroben – aber sie machen das Beste daraus: Sie fahren ihren Stoffwechsel fast bis auf null herunter und warten schlafend auf bessere Zeiten. Die „Dormanz", eine Art Dornröschenschlaf, kann zehn oder mehr Jahre dauern, währenddessen der Infizierte nichts von den Eindringlingen ahnt.

„Doch ab und zu wacht ein Erreger auf – wir nennen ihn Späher – und schaut nach, wie die Lage ist." Steht die Immunabwehr noch Gewehr bei Fuß, stirbt er ab. Doch ist sie abgelenkt, weil sie gerade an anderen Fronten kämpfen muss – etwa gegen HIV oder einen anderen Infekt –, weckt der Späher seine Kumpane. Die Langschläfer sind hungrig. Also: Erst einmal futtern, dann vermehren. „Das Granulom bietet ihnen alle Nährstoffe, die sie brauchen. Immer mehr Gewebe stirbt ab, bis sich das Granulom schließlich auflöst", erzählt Kaufmann. Jeder Hustenanfall katapultiert nun die aktiven Erreger in die Umwelt, hin zu neuen Wirten – eine offene Tuberkulose ist entstanden.

Kaufmanns Team erforscht die Stoffwechselvorgänge von Schläfern und Spähern, deren Kommunikation sowie die Signale zwischen Späher und Wirt. Zur Mikrobe ist der gebürtige Ludwigshafener, Sohn eines Chemikers, beim Biologiestudium in Mainz gekommen. Die klassischen Biologiethemen interessierten ihn wenig, doch dann hörte er eine Vorlesung in medizinischer Mikrobiologie bei Paul Klein, einem renommierten Immunologen und Mikrobiologen. „Klein war ein charismatischer, redegewandter Lehrer und Mentor. Er hat mich gelehrt, wie stark Wissenschaft begeistern kann."

KARRIERE IN DEUTSCHLAND

Kaufmann hatte sein Thema gefunden. 1977 promovierte er an der Uni Mainz, habilitierte vier Jahre später an der Freien Universität Berlin mit einer Arbeit zur Charakterisierung von T-Zellen bei bakteriellen Infektionen und erhielt die Lehrbefugnis für Immunologie und Mikrobiologie.

Seine nächste Station war Freiburg, wo er sechs Jahre am Max-Planck-Institut für Immunbiologie forschte. 1987 folgte er dem Ruf an die Universität Ulm, widerstand diversen Abwerbever-

Fotos: Jonas Steengard (2)

unten links | Stefan Kaufmann in der südafrikanischen Provinz KwaZulu-Natal. Sie ist besonders stark von der HIV/Tuberkulose-Epidemie betroffen. Die Patienten müssen täglich einen regelrechten Cocktail verschiedener Medikamente einnehmen.
unten rechts | Arbeitsbesprechung am Tugela Ferry Hospital, 250 Kilometer südöstlich von Durban. Hier wurden erstmals extrem resistente Tuberkuloseerreger in Südafrika beobachtet, die auf kein Medikament mehr ansprechen.
rechte Seite | Besuch bei einem früheren Minenarbeiter in KwaZulu-Natal, der mit HIV und multiresistenter Tuberkulose infiziert ist. Dank der Medikamente ist sein Gesundheitszustand stabil.





suchen und erhielt 1991 eine Professur. Kaufmann hat sich allein durchgebissen: „Ich war nie bei einem großen Mentor in den USA – was ich im Nachhinein auch nicht bereue. Es hatte Vorteile: Ich musste früh lernen, wie man organisiert." 1993 holte ihn die Max-Planck-Gesellschaft zurück und trug ihm die Gründung eines infektionsbiologischen Instituts an.

Kaufmanns Forscherkarriere begann mit *Listeria*, einem einfachen Modellerreger. Vieles verläuft ähnlich wie bei der Tuberkuloseinfektion, doch Listerien sind schneller. Damals galt das Dogma, dass bei bakteriellen Infektionen spezielle Immunzellen, sogenannte CD4-T-Zellen, auf den Plan treten, bei viralen hingegen CD8-T-Zellen. Kaufmann fand heraus, dass der Tuberkuloseerreger zwar wesentlich von CD4-T-Zellen kontrolliert wird, dass jedoch auch CD8 aktiv werden. Es waren Vorarbeiten für die Arbeit an einem verbesserten Impfstoff, mit der Kaufmann dann in den 1990er-Jahren begann.

Bis 1970 wurde jeder Säugling in der Bundesrepublik gegen Tuberkulose geimpft, in der DDR noch bis zur Wende. Sind die Älteren damit geschützt? Kaufmann schüttelt den Kopf. „Damals wie heute ist der einzige existierende Impfstoff *Bacillus Calmette-Guérin*, BCG, ein abgeschwächter Erreger der Rindertuberkulose. Wir wissen heute, dass er nur Kleinkinder schützt." Jeder Leser dieses Artikels könnte also infiziert sein, Stefan Kaufmann selbst war es auch schon.

ZIEL: EIN NEUER IMPFSTOFF

Ein neuer Impfstoff steht deshalb weit oben auf der Wunschliste von Epidemiologen. Kaufmanns Hypothese: BCG stimuliert primär CD4-T-Zellen. Dies reicht aus, um die Bakterien einzudämmen. Dann aber ist ein breites Immunarsenal erforderlich, um den Erreger abzutöten. „Wir haben daraufhin ein Listerien-Gen in das Erbgut des Impfstofferregers eingefügt", erzählt Kaufman. „So wurde aus dem ehemals schwachen Impfstoff auch ein Stimulierer von CD8-T-Zellen, der starken Schutz hervorruft."

Derzeit befindet sich der Impfstoffkandidat in der klinischen Phase II und wird in Südafrika getestet. Sogar schon bei Kleinkindern, der späteren Zielgruppe. „Wir müssen solche Studien in Gebieten mit vielen Tuberkulosefällen durchführen, denn nur so erfahren wir, ob die Impfung auch wirklich vor der Krankheit schützt."

Partner bei der Impfstudie ist die vom Bundesforschungsministerium initiierte Vakzine Projekt Management GmbH. Mittlerweile ist auch einer der größten Impfstoffhersteller der Welt mit im Boot, das Serum Institute of India. „Eines habe ich in den letzten Jahren gelernt: Das aufregende Neue, das wir über Infektionskrankheiten lernen, kommt nicht aus der Grundlagenforschung, sondern aus klinischen Studien. Sie zeigen uns, wonach wir im Labor suchen müssen."

Aus ihren Untersuchungen an Patienten lernen die Wissenschaftler gerade, dass Tuberkulose nicht eine einzelne Krankheit ist. Stattdessen sind die vielen Granulome in der Lunge eigene Einheiten. Neben offenen existieren abgekapselte Herde, in denen die Keime noch im Ruhezustand liegen. Behandelt man in dieser Phase, gehen die offenen Einheiten zurück, da die wachen Erreger angreifbar sind. Eine offene Tuberkulose muss aus diesem Grund sechs Monate lang behandelt werden, damit auch die nach und nach aufwachenden Erreger abgetötet werden.

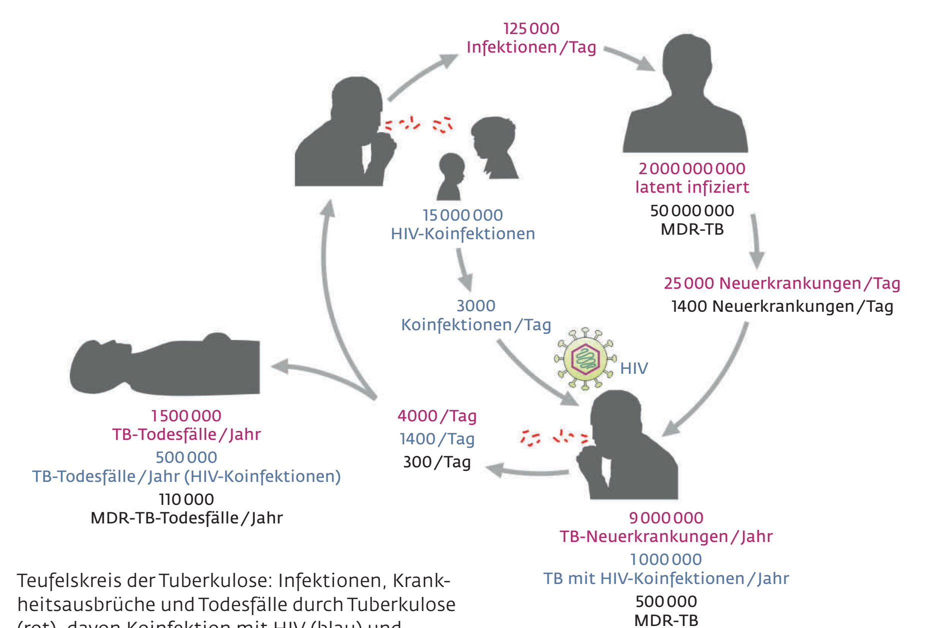
Dazu wird ein Cocktail aus mindestens drei Antibiotika eingesetzt. Aber die Bazillen haben sich gewappnet. Gegen viele Antibiotika sind sie mittlerweile re-

Fotos: Jonas Steengard (2)

sistent geworden. Die Behandlung eines mit multiresistenten Keimen infizierten Patienten kostet schnell 50 000 Euro. Damit ist auch klar, dass ein solcher Patient nur in reichen Ländern überhaupt behandelt werden kann.

Bereits 50 Millionen Menschen sind mit multiresistenten Stämmen infiziert. In 85 Staaten wurden bereits extensiv resistente Stämme entdeckt, und in Indien, Italien, dem Iran und Südafrika sind sogar schon total resistente Erreger aufgetreten. Gegen diese Erreger wirkt kein einziges Antibiotikum mehr.

Neben der Erforschung eines neuen Impfstoffs sucht Kaufmann mit Unterstützung der Bill & Melinda Gates Foundation nach Biomarkern, die Medizinern sagen können, wer überhaupt an Tuberkulose erkrankt und warum manche Menschen – so wie er selber – die Erreger wieder abschütteln können. Denn die Infektion bricht nur bei jedem Zehnten aus. Mehrere Tausend Probanden aus Familien mit Tuberkuloseinfizierten werden in sieben afrikanischen Studienzentren über zwei Jahre beobachtet und ihr Blut regelmäßig analysiert.



Teufelskreis der Tuberkulose: Infektionen, Krankheitsausbrüche und Todesfälle durch Tuberkulose (rot), davon Koinfektion mit HIV (blau) und multiresistente Tuberkulose (MDR-TB, schwarz).

Foto: Jonas Steengard; Grafik: MPI für Infektionsbiologie

BIOMARKER FÜR DIE DIAGNOSE

Latent Infizierte und akut Erkrankte unterscheiden sich demnach in der Aktivität von fast 2000 Genen. Vier bis sechs solcher ungewöhnlich stark aktivierten oder gedrosselten Gene will Kaufmann auswählen. Eine eindeutige Signatur, die bereits wenige Monate nach der Infektion anzeigt, wer erkranken wird und deshalb prophylaktisch behandelt werden sollte.

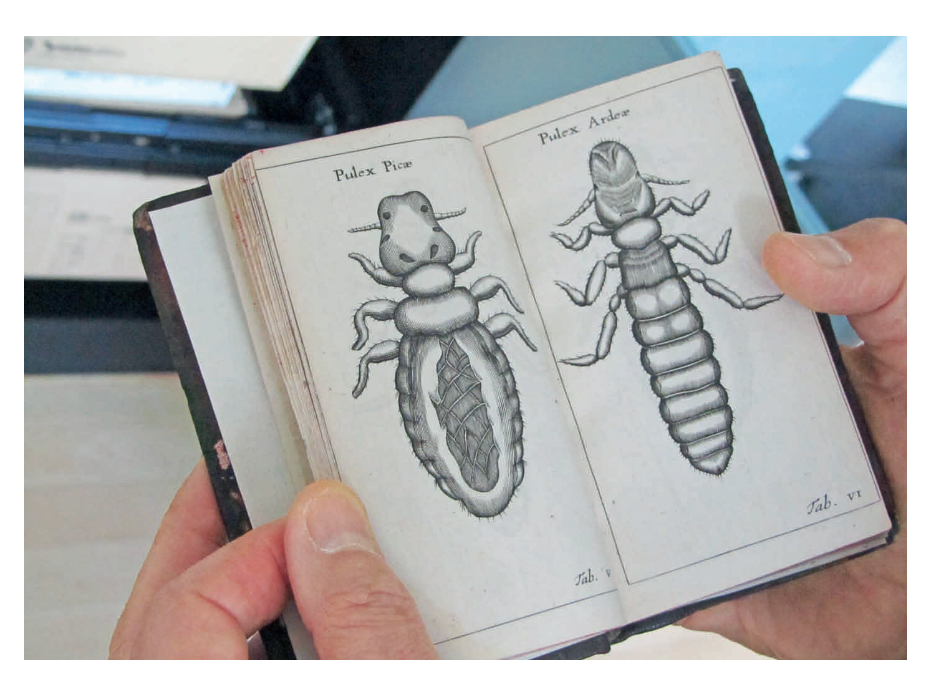
2010 hätte Stefan Kaufmann Direktor des Robert-Koch-Instituts werden können, doch er lehnte ab. Das nicht nur, weil er die unabhängige Forschung bei der Max-Planck-Gesellschaft hoch schätzt. Sondern auch, weil er glaubt, wissenschaftlich und gesellschaftlich durch sein Engagement bei internationalen Organisationen weit mehr errei-

chen zu können. Beispielsweise bei GAVI Alliance, einer öffentlich-privaten Partnerschaft, die sich dafür einsetzt, dass vorhandene Impfstoffe auch armen Ländern zugutekommen. Oder als Mitglied eines Gutachtergremiums der Bill & Melinda Gates Foundation, welches die Ideen von Wissenschaftlern aus ärmeren Ländern auf ihre Umsetzbarkeit hin prüft.

Zudem setzt er auf die Zusammenarbeit mit Medizinern und Wissenschaftlern vor Ort. Dafür bedarf es guter Partner. „Deshalb bin ich auch stolz, dass auf meine Initiative hin zwei Max-Planck-Forschergruppen im südafrikanischen Durban eingerichtet wurden, die sich mit Tuberkulose und HIV beschäftigen.“ Darüber hinaus will er als Präsident der International Union of Immunological Societies (IUIS) Lücken schließen: Lücken in der Kommunikation zwischen jungen und erfahrenen Wissenschaftlern, zwischen Grundlagenforschung und angewandter Forschung sowie zwischen Wissenschaftlern aus unterschiedlichen Kulturen.

Auf dem Besprechungstisch mahnen zwei kleine Buddhafiguren, die Kaufmann aus China und Kambodscha mitgebracht hat, zu Gelassenheit. Nein, besonders geduldig sei er nicht. Auch nicht mit sich selbst, gibt er zu. Fruchtlose Sitzungen sind ihm ein Gräuel. „So kurz wie möglich und so lang wie nötig“, ist seine Devise. Aber Ungeduld hat auch Vorteile. „Macht man mich zum Vorsitzenden eines Gremiums, sind meist alle zufrieden. Weil sie nach ein, zwei Stunden mit einem Ergebnis wieder gehen können“, sagt er schmunzelnd. „Aber trotzdem habe ich etwas von einem Langstreckenläufer, sonst wäre Tuberkulose auch nicht das Richtige gewesen.“

Bei seinen Reisen, die ihn auf alle Kontinente, besonders häufig aber nach Afrika und Indien geführt haben, hat Kaufmann viel gesehen und erlebt. Das Ineinandergreifen von Armut und Krankheit und das Desinteresse der Pharmaindustrie an der Entwicklung von Medikamenten, „mit denen man nicht viel verdienen kann“, empören ihn und spornen ihn an. Ans Aufhören denkt der Biologe, Vater von zwei erwachsenen Söhnen und seit Kurzem Großvater, deshalb noch lange nicht.



In seinem Buch *Experimenta circa generationem insectorum* aus dem Jahr 1671 beschreibt Francesco Redi unterschiedliche Überträger von Krankheiten, etwa die Floharten *Pulex picae* und *Pulex ardeae*. Auf ihn geht die Erkenntnis zurück, dass Leben nur aus Leben und nicht aus toter Materie entstehen kann, wie damals allgemein angenommen wurde.

Auf dem Stuhl neben Kaufmann liegt ein prall gefüllter Rucksack. Er enthält einen dicken Ordner für die Arbeit zu Hause, einen Laptop und Sportzeug für den Abend. Für den kurzen Weg zwischen Institut und Wohnung schwingt sich er sich wie immer aufs Rad. Auf ein eigenes Auto verzichtet Kaufmann seit einiger Zeit bewusst.

BIBLIOTHEK IM BÜRO

Seine Faszination für Mikroben ist auch privat zum Hobby geworden. Kaufmann steht auf und öffnet den großen Bibliotheksschrank neben dem unter akkuraten Papierstapeln fast verschwindenden Schreibtisch. Hinter getönten Scheiben und zwischen abgegriffenem Leder steht ein Schatz: gebundene Originalwerke berühmter Forscher. Darunter finden sich die komplette Berliner Klinische Wochenschrift mit allen wichtigen Artikeln Robert Kochs oder das Werk von Girolamo Fracastoro aus dem 16. Jahrhundert, der die Ansteckung mit Syphilis und Tuberkulose erstmals beschrieb. Die Abbildungen sind teilweise nichts für empfindliche Gemüter.

Eins seiner Lieblingsbücher stammt von Antoni van Leeuwenhoek und erschien 1685. Der Tuchhändler erblickte unter einem selbst gebauten Mikroskop als erster Mensch Bakterien. „Die hatte er von seinen Zähnen abgekratzt. Fortan soll er nur noch sehr heißen Tee getrunken haben“, erzählt Stefan Kaufmann lachend, „weil er glaubte, die Keime auf diese Weise abtöten zu können.“

So weit die Historie. Wie sieht die Zukunft der Infektionsbiologie aus? Seit 1980 wurden mehr als dreißig potenziell gefährliche neue Erreger entdeckt. Dass weitere folgen werden, ist sicher. Durch die Globalisierung werden aus Infektionskrankheiten schnell Pandemien, die jeden Punkt der Erde erreichen können. „Impfungen sind der Schlüssel – Vorbeugen ist immer besser als Heilen. Dagegen sind die Erreger weitgehend machtlos, weil es am Anfang immer nur ganz wenige sind.“

In Büchern und Artikeln mahnt Kaufmann Gesellschaft, Politik und Industrie zum gemeinsamen Handeln. Insbesondere gegen den Hauptrisikofaktor von Krankheit: Armut. Stefan Kaufmann zitiert dazu gern Voltaire. „Wir sind verantwortlich für das, was wir tun. Aber auch für das, was wir nicht tun.“ ◂



Ein Vorbild für Materialwissenschaftler: Von der Oberfläche eines Lotusblattes perlt Wasser spurlos ab. Mainzer Forscher entwickeln nach diesem Muster Schichten, die wasser- und ölabweisend sind.



Eine Rutschbahn für jeden Tropfen

Nicht nur der lästigen Schmiere auf Fensterscheiben könnte die Forschung von **Doris Vollmer** und **Hans-Jürgen Butt** ein Ende setzen, sie ermöglicht auch selbstreinigende Solarzellen, die Licht besonders effizient sammeln, oder leistungsfähigere Herz-Lungen-Maschinen. Denn die Wissenschaftler entwickeln am **Max-Planck-Institut für Polymerforschung** in Mainz Oberflächen, die extrem wasser- und blutabweisend sind.

TEXT **ROLAND WENGENMAYR**

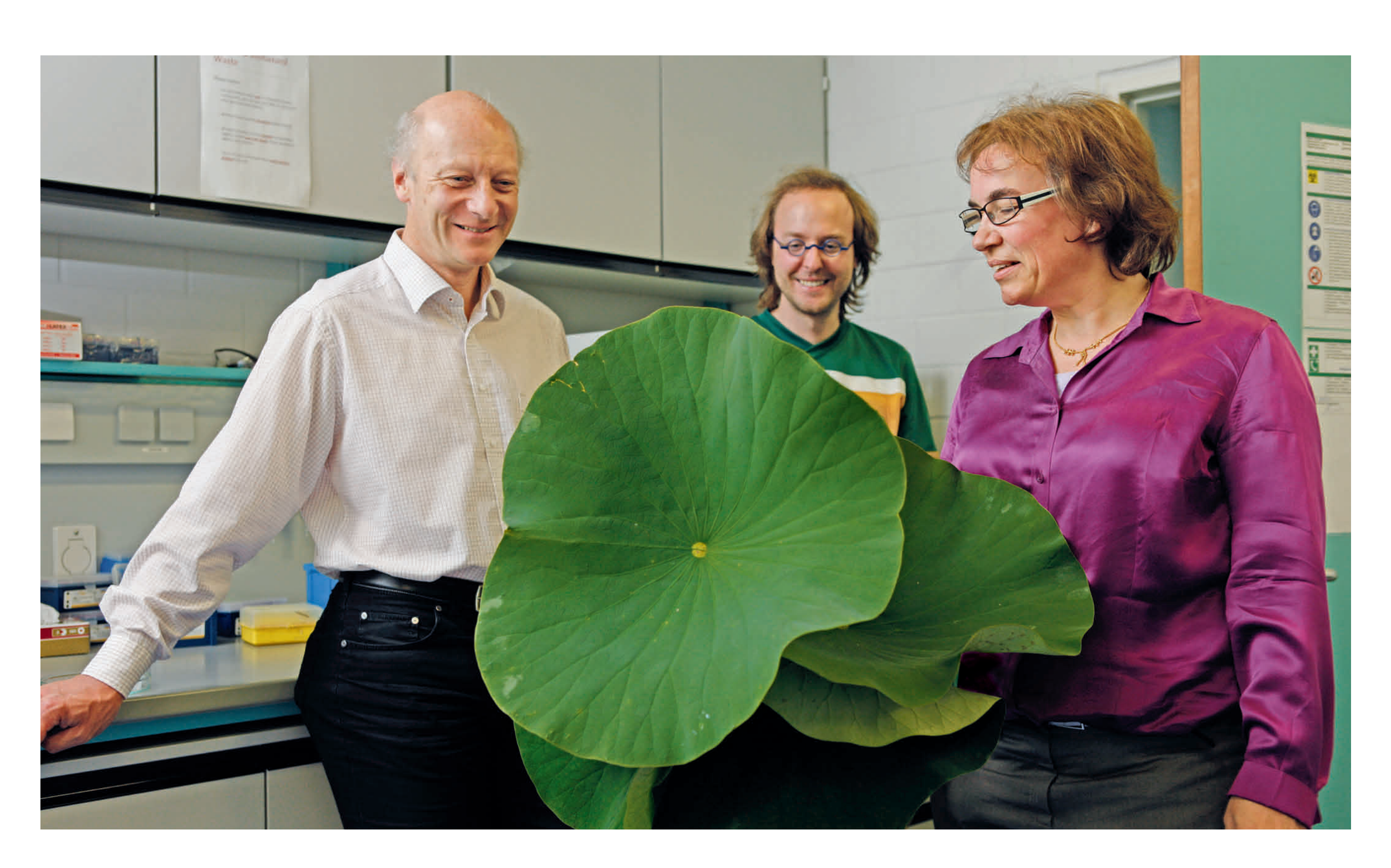
Diese Lotusblätter habe ich extra frisch aus dem botanischen Garten besorgt", betont Doris Vollmer. Die Gruppenleiterin in der Abteilung von Hans-Jürgen Butt, Direktor am Max-Planck-Institut für Polymerforschung in Mainz, präsentiert stolz einen Strauß frischer, großer Blätter an langen Stängeln. Deren Oberflächen schimmern geheimnisvoll, und tatsächlich hat die Evolution sie besonders raffiniert gestaltet.

Periklis Papadopoulos, ein junger Postdoktorand aus Vollmers Team, nimmt ein Lotusblatt und lässt Wasser darauftropfen. Der Tropfen verharrt kurz in der kleinen Vertiefung in der Blattmitte, als sei er etwas unschlüssig. Dann gleitet er wie ein kugeliges Miniluftkissenboot vom Blatt herunter, ohne darauf eine nasse Spur zu hinterlassen. Schließlich landet er auf der Hose des griechischen Physikers. Der nasse Fleck auf dem Jeansstoff steht in einem eindrucksvollen Kontrast zum Lotusblatt. Das sieht so perfekt trocken aus, als wäre darauf nie ein Wassertropfen gelandet.

Mit dem Lotuseffekt hält die Pflanze aber ihre im Wasser schwimmenden Blätter nicht nur trocken – vor allem bleiben diese sauber. Das abperlende Wasser spült nämlich Schmutz mit sich fort, weshalb der Lotus in einigen Kulturen als Symbol für Reinheit gilt. So kann die Pflanze ein Maximum an Sonnenlicht einfangen. Und genau die Fähigkeit zur Selbstreinigung fasziniert Wissenschaftler, seit der deutsche Botaniker Wilhelm Barthlott in den 1970er-Jahren erstmals Lotusblätter mit einem Elektronenmikroskop untersuchte.

EIN MIKROWALD MACHT OBERFLÄCHEN SUPERHYDROPHOB

Inzwischen gibt es sogar erste Anwendungen des Lotuseffekts auf dem Markt. Doch so richtig durchsetzen konnten sie sich bislang nicht, weil sie noch zu viele Nachteile haben. Mit neuen Ideen hat Doris Vollmers Team nun dem lästigen Schmierfilm den Kampf angesagt. Zuverlässig selbstreinigende Autoscheiben, Fassadenglas und Solarzellen wären in der Tat ein großer Fortschritt. >



Hans-Jürgen Butt, Frank Schellenberger und Doris Vollmer (von links) erforschen, unter welchen Bedingungen Oberflächen wie die eines Lotusblattes Wasser abweisen und wann sie auch Öl abstoßen. Anhand der Erkenntnisse entwickeln sie Beschichtungen, an denen nahezu alle Flüssigkeiten abperlen.

Genau wie Lotusblätter würden Solarzellen so nicht mehr unter Lichtverlust durch Verschmutzung leiden.

Superhydrophob heißen extrem wasserabstoßende Flächen wissenschaftlich präzise. Eine noch größere Herausforderung aber sind superamphiphobe Oberflächen, lernt man bei Hans-Jürgen Butt, denn an ihnen können auch ölige Substanzen spurenlos abperlen. Erst diese zweite Eigenschaft macht sie auch zur perfekten Antischmierschicht. Für Anwendungen wie die Beschichtung von Solarzellen müssen sie allerdings auch durchsichtig sein, und die Transparenz ist eine echte Herausforderung.

Superhydrophobe oder superamphiphobe Oberflächen sind nicht etwa perfekt glatt, wie man vermuten könnte. Ganz im Gegenteil: Mikroskopaufnahmen von Lotusblättern offenbaren einen komplexen Mikrowald aus baumartigen Erhebungen, die grob zehn Mikrometer (tausendstel Millimeter) breit und hoch sind. Bei noch stärkerer Vergrößerung sieht man, dass sie von feinen Stäbchen bedeckt sind, die einen Durchmesser von wenigen Dutzend Nanometern (millionstel Millimeter) haben und einige Hundert Nanometer lang sind. Vollmer deutet auf sie und sagt: „Die sind wichtig, damit die Oberfläche der Lotusblätter wirklich superhydrophob wird.“

KERZENRUSS ALS VORFORM DER SUPERAMPHIPHOBEN SCHICHT

Die Lotuspflanze hat das Abperlen von Wasser seit vielen Jahrtausenden perfektioniert. Seit Mitte der 1990er-Jahre gelingt es der Forschung, den Lotuseffekt mit künstlichen Mikro- und Nanostrukturen immer besser zu imitieren. Doris Vollmer führt auf dem Rechner eine ganze Sammlung an winzigen Säulen, himbeerartigen Mikrokugeln mit Nanonoppen und anderen Strukturen aus dem Mainzer Labor vor, die alle sehr gut Wasser abperlen lassen können.

Schwierig wird es, wenn diese Oberflächen zusätzlich Öl, Blut oder Seifenlösungen abweisen sollen, denn diese Flüssigkeiten können viele Materialien benetzen. „Bis vor wenigen Jahren war unklar, ob superamphiphobe Oberflächen überhaupt möglich sind“, erklärt Vollmer. Erst 2007 gelang amerikanischen Forschern ein Durchbruch mit pilzartigen Mikrostrukturen. Inzwischen hat die Mainzer Physikerin, die im Laufe ihrer wissenschaftlichen Karriere eine habilitierte Chemikerin wurde, mit ihrem Team die Entwicklung superamphiphober Materialien vorangetrieben.

Oberflächen, die sogar besonders dünnflüssige Öle nicht benetzen können, sind wissenschaftlich ziemlich anspruchsvoll. Umso verblüffender ist das einfache Herstellungsverfahren, das die Mainzer dafür gefunden haben. Und gerade diese Einfachheit könnte völlig neue technische Anwendungen hervorbringen. Hans-Jürgen Butt arbeitet zum Beispiel an einer selbstreinigenden Membran, die in Herz-Lungen-Maschinen das Blut von Patienten viel effizienter mit Sauerstoff anreichern könnte als heutige Geräte. Doch davon später, zuerst geht es ins Labor.

Dort führt Periklis Papadopoulos vor, wie erstaunlich simpel das Mainzer Rezept für superamphiphobe Beschichtungen funktioniert. Das gilt zumindest für den ersten Schritt, den man zu Hause problemlos nachmachen kann. Der Physiker nimmt ein dünnes Glasscheibchen und eine Kerze. Nachdem er diese entzündet hat, hält er das Glas darüber. Schnell schwärzt es sich mit Kerzenruß. Und diese Rußschicht hat es in sich.

Unter dem Mikroskop zeigt sie sich als ein Konglomerat winziger, erstaun-

Foto: Axel Stephan

» Sogar dünnflüssiges Hexadecan rollt auf der superamphiphoben Schicht spurlos ab. Vor wenigen Jahren hätten viele Experten das kaum für möglich gehalten.

lich gleichmäßig großer Rußkügelchen, die ziemlich ungeordnet aufeinander abgelagert sind. Allerdings ist diese Schicht noch pechschwarz und lässt sich leicht abwischen. Bis zur transparenten und abriebfesteren Beschichtung sind weitere Schritte nötig. Diese funktionieren allerdings nur in einem gut ausgestatteten Labor und erfordern experimentelles Geschick.

Die schwammartige Struktur aus Rußkügelchen liefert nur die Vorform – das ist der Trick. Auf den Ruß dampfen die Mainzer jetzt eine flüchtige, organische Siliciumverbindung auf, außerdem erfordert das Rezept eine Prise Ammoniak. Beide Substanzen reagieren auf der Oberfläche der Rußteilchen chemisch zu Siliciumdioxid, also schlicht Glas. Nach und nach werden die Rußkügelchen so von einer dünnen, porösen Glasschicht ummantelt. Die fertig verglaste Struktur erhitzen die Forscher auf 500 Grad Celsius und brennen so den Ruß, der ja im Wesentlichen aus Kohlenstoff besteht, mit Sauerstoff heraus.

Am Schluss bleiben hohle Glaskügelchen übrig – sozusagen farblose, zusammengeklebte Nanochristbaumkugeln. Mit einem Durchmesser von etwa sechzig Nanometern sind sie etwa so klein wie viele Viren. Nun ist die schwammartige Glasschicht durchsichtig. Wie der Blick durch ein Mikroskop zeigt, finden sich in dem Schwamm aus Glaskügelchen Überhänge. Diese sind notwendig, damit eine Oberfläche Wasser und Öl abweist. Damit Öltröpfchen sie garantiert nicht benetzen können, dampfen die Max-Planck-Wissenschaftler am Schluss noch eine fluorhaltige Siliciumverbindung auf. „Die Oberfläche stößt Öl dann besser ab als eine Teflonpfanne“, erklärt Periklis Papadopoulos.

DER RITT DER TRÖPFCHEN ÜBER NANOSTOPPELFELDER

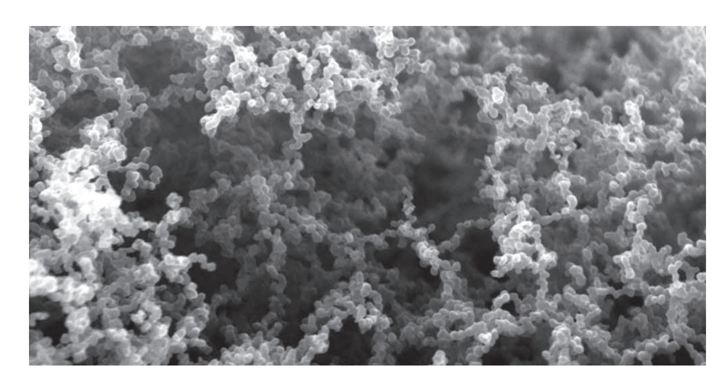
Der Postdoktorand zeigt Glasplättchen mit der fertigen superamphiphoben Glasbeschichtung. Etwas milchig sehen sie noch aus. „Die Transparenz verbessern wir gerade“, sagt der Physiker. Er lässt etwas Wasser darauftropfen, das schon bei geringer Neigung des Plättchens wie auf einer perfekten Rutschbahn abperlt. Das ist der Lotuseffekt. Doch noch viel beeindruckender, zumindest für Kenner, ist die Demonstration mit Hexadecan. Dieses dünnflüssige Öl ist zum Beispiel Bestandteil von Heiz- und Schmierölen. Sogar das Hexadecan rollt spurlos ab. Vor wenigen Jahren hätten viele Experten das kaum für möglich gehalten.

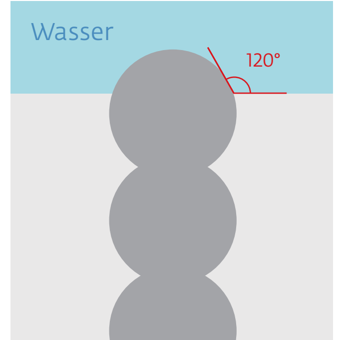
Der zarte Glaskugelschwamm ist noch recht empfindlich. Immerhin funktioniert er sogar noch, nachdem eine Weile Sand aus dreißig Zentimetern Höhe daraufgerieselt ist. „Dann sind zwar die oberen Partikel weg, aber wegen der Dicke der Schicht sitzen noch genug auf der Oberfläche“, erklärt Papadopoulos. Die Mainzer Gruppe arbeitet gerade an einem verbesserten Verfahren, das die Glaskügelchen miteinander verbäckt und die Beschichtung abriebfester macht.

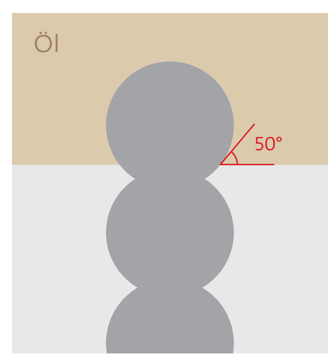
Aber warum weisen solche Mikrolandschaften Wasser- oder Öltropfen so perfekt ab? Am Computer führen Vollmer und Papadopoulos in starker Vergrößerung vor, was mit den Flüssigkeitstropfen passiert. Die Mainzer setzen dazu ein besonders hochauflösendes Mikroskop ein, das mit einem sehr feinen Laserstrahl die Tröpfchen auf den Oberflächen abrastert. So ein Gerät heißt Konfokalmikroskop, es liefert den Forschern eine komplette dreidimensionale Information über den Ritt der winzigen Tröpfchen über Mikrowälder und Nanostoppelfelder.

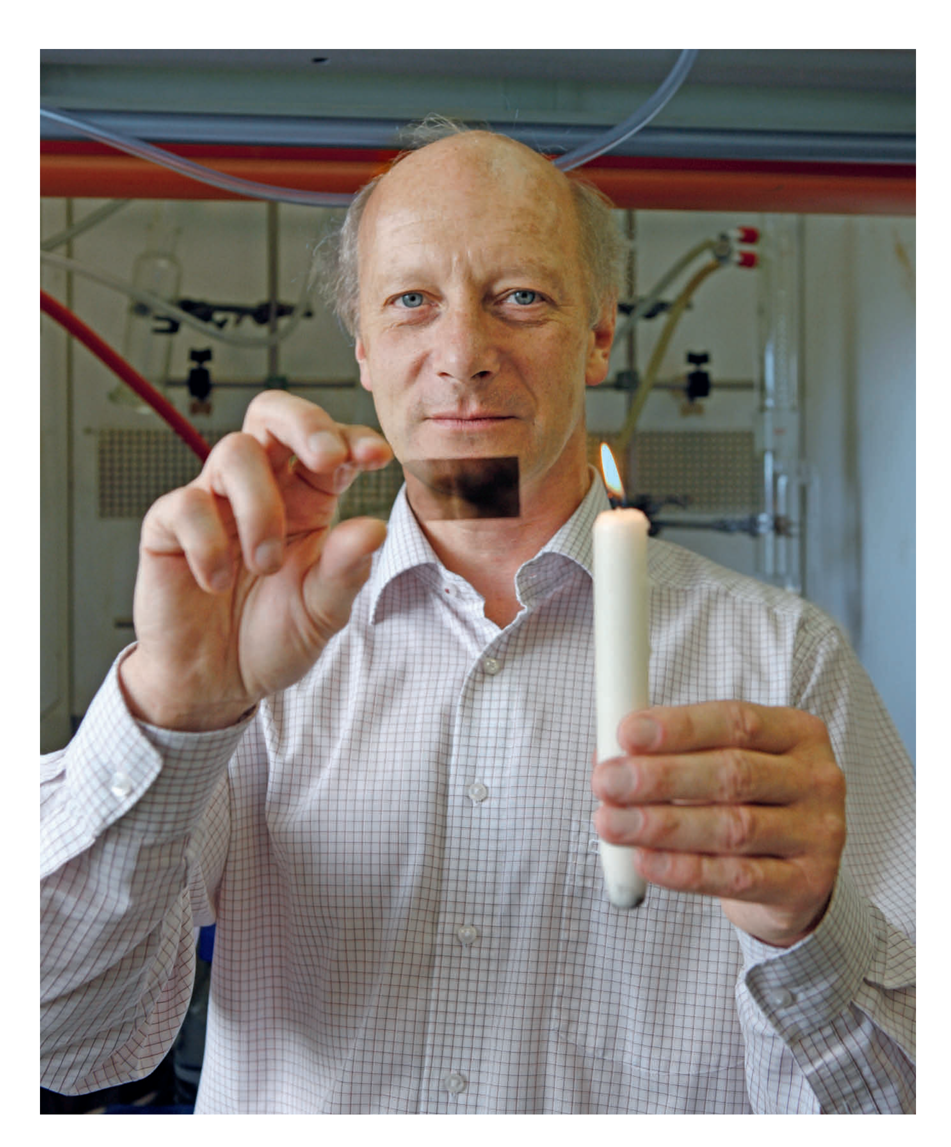
Entscheidend ist dabei, dass die Tröpfchen oben auf den mikroskopischen Säulen, Noppen oder Kugeln aufliegen. Solange sie keinen Kontakt mit der eigentlichen Oberfläche am Boden dieser Strukturen bekommen und diese benetzen können, perlen sie leicht ab. Der Eindruck, dass sich der Tropfen auf dem Lotusblatt wie ein kleines Luftkis-

Ein gläserner Mikrowald, der Wasser und Öl abweist: Auf dem Bild eines Rasterelektronenmikroskops (links) sind die kugelförmigen Strukturen zu sehen, aus denen sich die Oberflächenbeschichtung zusammensetzt. Flüssigkeiten bilden auf den kugeligen Oberflächen denselben Kontaktwinkel wie auf einer ebenen Oberfläche des Materials. Für Wasser kann dieser Winkel bis zu 120 Grad betragen, für Öl ist er deutlich niedriger, hier 50 Grad. Daher braucht eine ölabweisende Oberfläche überhängende Strukturen. Sind die Überhänge nicht stark genug, dass Öl den Kontaktwinkel einnehmen kann, sackt es durch die Poren durch.









So einfach kann es gehen: Hans-Jürgen Butt führt den ersten Schritt vor, um superamphiphobe Beschichtungen zu erzeugen. Er hält ein Glasplättchen in eine Kerzenflamme, sodass sich darauf Ruß abscheidet. Dessen poröse Struktur aus winzigen aneinanderhaftenden Kugeln dient als Vorform für die weiteren Schritte.

senboot bewegt, war nicht falsch. Auf den Mikroskopaufnahmen erinnern die Tropfen auf den superhydrophoben Mikrostrukturen an kleine, kugelige Fakire, die auf Nagelbrettern kauern. Tatsächlich heißt dieses Aufsitzen auf den äußersten Spitzen Fakir- oder auch Cassie-Zustand, weil der Brite A. B. D. Cassie ihn 1944 erstmals wissenschaftlich beschrieben hat. Unter dem Tropfen befindet sich hauptsächlich Luft, und so perlt er leicht von der Oberfläche ab.

Eines wünscht man keinem Fakir: dass er in sein Nagelbrett hineinsackt. Ihre winzigen Wassertropfen bringen die Mainzer jedoch dazu, durch den Mikrowald hindurchzurutschen – und beobachten sie dabei. Dann bricht die Superhydrophobizität zusammen. Was dabei auf mikroskopischer Ebene genau geschieht, war bislang unbekannt. Um dahinterzukommen, setzten die Max-Planck-Forscher Tröpfchen von wenigen Hundert Mikrometer Durchmesser auf ein Raster feiner Kunststoffsäulen, das sie eigens zu diesem Zweck hergestellt haben: Die Säulen waren zum Beispiel zehn Mikrometer dick und 23 Mikrometer hoch – also etwas untersetzt gestaltet. Solange der Tropfen nur auf ihren oberen Kreisflächen auflag, verhielt sich die dachfreie Mikrosäulenhalle superhydrophob.

Nun ließen die Forscher das Tröpfchen und damit seine Auflagefläche auf dem Säulenraster schrumpfen. Dazu trockneten sie es einfach langsam aus. Im Video – von unten durch den transparenten Boden der Mikrosäulenhalle aufgenommen – sieht man, wie die Kontaktfläche des Tropfens schrumpft. Am zurückgehenden Rand versucht das Wasser, die Säulen oben möglichst lange zu benetzen. Mit immer länger gezogenen Ausstülpungen klammert sich der Tropfen an die Säulen, bevor er sie freigeben muss. Schließlich reißen diese Wasserfäden ab, und ganz plötzlich wird der Tropfen zu einem dunklen Fleck. In diesem Moment reicht die Fläche der Säulenspitzen nicht mehr aus, um ihn oben zu halten. Er sackt auf den Boden durch.

EINE ANWENDUNG IST IN DER BLUTWÄSCHE MÖGLICH

Wie der seitliche Blick zeigt, hängt die Unterseite eines Wassertropfens zwischen der sinkenden Zahl von Säulen, die den schrumpfenden Tropfen oben halten, vorher immer stärker durch. „Das ist so, als würde jemand in einer Hängematte liegen und immer schwerer werden“, kommentiert Doris Vollmer die Bilder. Ihre Gruppe hat anhand dieser hochauflösenden Aufnahmen aufgedeckt, dass Cassies ursprüngliches Modell in einigen Details korrigiert werden muss.

„Anders als bei der Hängematte ist es aber nicht die Schwerkraft, die den Tropfen einsinken lässt, sondern der sogenannte innere Kapillardruck“, sagt Hans-Jürgen Butt. Der Kapillardruck führt dazu, dass sich der Tropfen auch auf der Unterseite abrundet. Das kann er nur, wenn er zwischen den Säulen eindringt. „Der Kapillardruck wächst, wenn der Tropfen schrumpft, dabei steigt die Krümmung seiner Oberfläche, und der Effekt der Oberflächenspannung wird immer größer“, erläutert der Max-Planck-Direktor. Diese Beobachtung bestätigen auch Computersimulationen der Gruppe von Stephan Herminghaus, Direktor am Max-Planck-Institut für komplexe Systeme in Göttingen.

Sobald sich der Tropfen auf dem Boden der Mikrosäulenhalle ausbreitet und der superwasserabweisende Zustand zusammengebrochen ist, befindet er sich in einem Zustand, der nach Norbert Wenzel benannt ist. Der deutsche Wissenschaftler hat 1936 erstmals

Foto: Axel Stephan

» Ob ein Tropfen durch eine poröse Struktur hindurchsackt, hängt zum einen vom Verhältnis der Tropfengröße zur Feinheit der Oberflächenstruktur ab, zum anderen von der chemischen Anziehung zwischen Flüssigkeit und Oberfläche.

beschrieben, wie ein Tropfen grundsätzlich eine raue Oberfläche benetzt.

Die Experimente der Mainzer Forscher zeigen mithin, unter welchen Bedingungen ein Tropfen durch eine poröse Oberflächenstruktur hindurchsackt. Demnach hängt dies zum einen davon ab, in welchem Verhältnis die Tropfengröße zur Feinheit der Oberflächenstruktur und zur Größe der Poren steht. Zum anderen entscheidet darüber, wie sich Flüssigkeit und Oberfläche gegenseitig chemisch anziehen oder abstoßen. Deshalb sorgt die fluoridierte Beschichtung bei der superamphiphoben Struktur für eine zusätzliche Abstoßung der Öltröpfchen. Diesen vergeht dadurch sozusagen die Lust, sich so richtig auf der ihnen unsympathischen Oberfläche niederzulassen.

Nach diesem Ausflug in die Theorie des Kontakts zwischen Tropfen und Oberflächen geht es im Gespräch mit Hans-Jürgen Butt um mögliche Anwendungen. Der Physiker kam im Lauf seiner akademischen Karriere von der Biophysik zur Physik und Chemie von Oberflächen. Entsprechend unkonventionell denkt er über Einsatzmöglichkeiten der neuen superamphiphoben Oberflächenstruktur nach. „Meine erste Idee waren künstliche Kiemen“, sagt er, „und da lag dann die Blutwäsche nahe.“ In beiden Fällen hat eine Flüssigkeit, das Blut, über eine Membran Kontakt mit einer anderen Flüssigkeit. Bei Kiemen ist es das sauerstoffhaltige Wasser, bei der Dialyse von Nierenpatienten ist es die Dialyselösung.

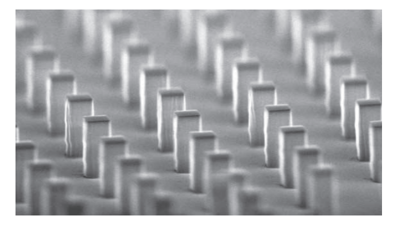
Von dort war der gedankliche Sprung nur kurz bis zum Gasaustausch zwischen Blut und Luft, wie er in Lungen geschieht. Oberflächentechnisch gesehen, stellt ein intensiver Kontakt zwischen einer Flüssigkeit und einem Gas eine gewisse Herausforderung dar, wenn die Flüssigkeit in einem Behältnis eingesperrt bleiben soll. Das ist beim Blut, das mit Lungenbläschen in Kontakt kommt, der Fall. Künstliche Lungen sind tatsächlich schon länger in Herz-Lungen-Maschinen etabliert, wie sie im Operationssaal eingesetzt werden. In modernen Geräten sorgen Kunststoffmembranen mit winzigen Poren dafür, dass Sauerstoff ins Blut gelangt und Kohlendioxid aus ihm entfernt wird.

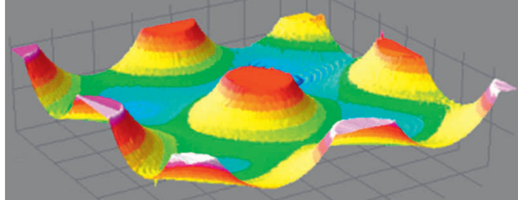
Die herkömmlichen Membranen haben allerdings Nachteile. Einer besteht darin, dass die Flüssigkeit in die Membranporen eindringen kann, folglich die Membran benetzt. So schrumpft die Grenzfläche zwischen Flüssigkeit und Luft, weshalb an ihr weniger Gas ausgetauscht wird. Deshalb sind künstliche Lungen auch erheblich weniger leistungsfähig als unsere echten Lungen. Hinzu kommt, dass Blut ein ganz besonderer Saft ist, wie Johann Wolfgang von Goethe seinen Mephisto bemerken ließ. Die für die Gerinnung zuständigen Blutplättchen zum Beispiel drohen die Poren zu verschließen. Es können sich Verklumpungen bilden, die sich lösen und Adern des Patienten verstopfen.

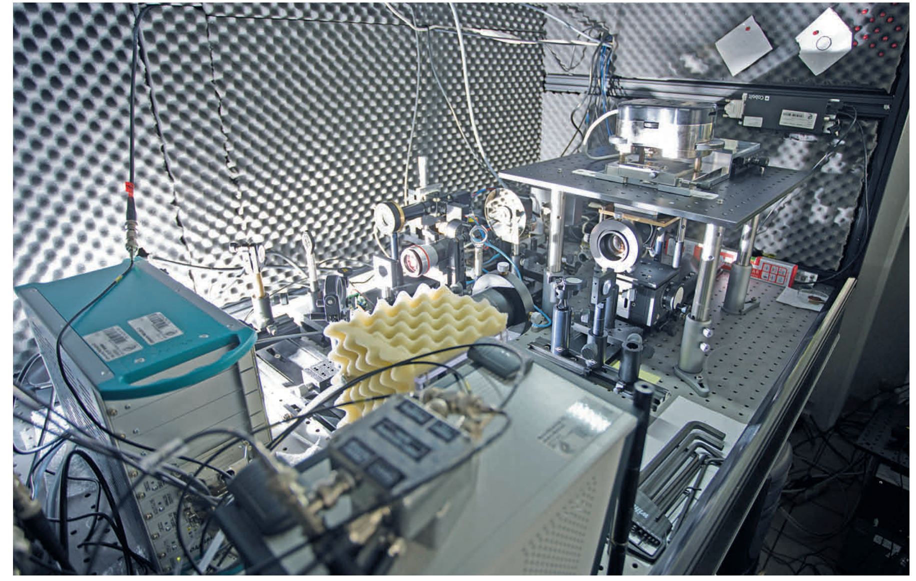
DIE VÖLLIG NEUARTIGE MEMBRAN WAR EINE IDEE DES TEAMS

Die Mainzer Forscher überlegten, wie sich die Membranen mithilfe ihrer superamphiphoben Strukturen verbessern lassen könnten. „Mir ist es sehr

Topografie der Benetzung: Mit einem konfokalen Mikroskop (unten) untersuchen die Mainzer Forscher, unter welchen Bedingungen welche Flüssigkeit eine Oberfläche benetzt. Manche ihrer Modelloberflächen ähneln mikroskopischen Säulenhallen ohne Dach (links oben). Anhand von Reflexionsmessungen rekonstruieren sie, wie die Unterseite eines Tropfens gekrümmt ist, wenn dieser auf den Säulen liegt (rechts oben). Die Falschfarben in diesem Ausschnitt zeigen, wie weit der Tropfen einsinkt.

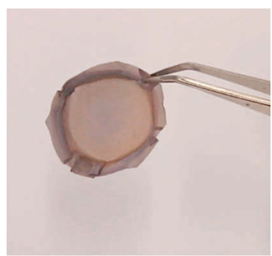


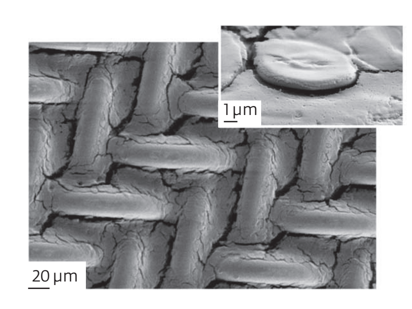


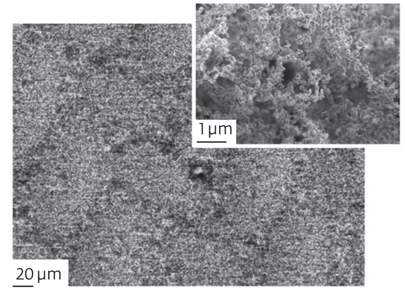


Fotos: MPI für Polymerforschung (oben, 2), Axel Stephan (unten)









Auf einer Membran aus einem superamphiphoben Material hinterlässt Blut keine Spur (links). Von einem hydrophilen Netz fließt Blut nicht restlos ab, sodass im Rasterelektronenmikroskop vertrocknete Rückstände zu erkennen sind (zweites Bild von rechts). Die feinporige Struktur einer superamphiphoben Schicht zeigt dagegen keine Blutspur (rechts).

wichtig, eine kreative Diskussionsatmosphäre zu schaffen", betont Hans-Jürgen Butt. So entstand im Team die Idee, eine völlig neuartige Membran zu entwickeln. Als Grundgerüst dient ein extrem feines Gittergewebe aus rostfreiem Stahldraht. Etwa dreißig Mikrometer dünn sind diese Drähte – ein menschliches Kopfhaar ist grob dreimal so dick.

HERZ-LUNGEN-MASCHINEN FÜR FRÜHGEBORENE

Ähnlich winzig sind die Öffnungen in dem Stahlnetz, das die Mainzer nun von beiden Seiten mit der superamphiphoben Glaskügelchenschicht versehen. Das sorgt für die entscheidende Eigenschaft der neuen Membran: Das Blut kann sie nicht mehr benetzen. Es bleibt auf seiner Seite, und die Luft kommt durch die Membranporen nahezu ungehindert an es heran. Umgekehrt kann das Blut das Kohlendioxid sehr effizient abgeben.

Die Mainzer stießen allerdings auf eine Schwierigkeit: Wie lässt man sich selbst zur Ader, wenn man keine medizinische Ausbildung hat? „Zum Glück ist der Mann meiner Kollegin Katharina Landfester Transplantationsmediziner, und er hat uns immer wieder eigenes Blut gespendet", sagt Butt, „uns genügen ja einige Milliliter." Im Labor funktioniert die Membran schon sehr gut. „Sie ist effizient", sagt Butt, „noch wichtiger ist es, dass vom Blut nichts daran hängen bleibt."

Die im Labor hergestellten Membranstücke sind noch klein, aber im Prinzip lassen sie sich leicht viel größer herstellen. Noch ist der Weg von der reinen Grundlagenforschung der Mainzer zur medizinischen Anwendung weit. „Dazu sind dann auch umfangreiche klinische Tests notwendig", sagt der Max-Planck-Direktor. Butt ist aber skeptisch, dass die neue Membrantechnik die etablierten Herz-Lungen-Maschinen für erwachsene Patienten verdrängen kann. Dank ihrer viel besseren Eigenschaften könnte sie aber sehr kleine Patienten retten, die nur wenig Blut haben. „Für Frühgeborene wären solche Herz-Lungen-Maschinen viel besser", sagt der Wissenschaftler.

Hans-Jürgen Butt denkt auch über ganz andere Anwendungsfelder nach. Im Prinzip könnten ähnliche Membranen in Zukunft auch effizient Kohlendioxid aus Kraftwerkabgasen abtrennen und so zum Klimaschutz beitragen. „Der Gasaustausch ist sicher das potenziell größte Anwendungsgebiet", sagt Butt. Doch auch die Idee künstlicher Kiemen findet er nach wie vor „lustig". Vielleicht hat die Mainzer Forschung eines Tages zur Folge, dass uns auch unter Wasser nicht mehr die Luft ausgeht. ◂

AUF DEN PUNKT GEBRACHT

- **Superhydrophobe Oberflächen wie etwa Lotusblätter werden von Wasser nicht benetzt; superamphiphobe Oberflächen weisen Wasser, Öl, Blut und Seifenlösungen ab.**
- **Eine poröse Struktur aus miteinander verbundenen Glaskügelchen, die mithilfe von Kerzenruß erzeugt wird, besitzt superamphiphobe Eigenschaften, weil sie mikroskopische Überhänge aufweist. Diese halten den Tropfen in einem metastabilen Zustand und verhindern, dass er in die Struktur eindringt.**
- **Ob ein Tropfen eine Oberfläche benetzt, hängt einerseits davon ab, ob sich die Flüssigkeit und das Material der Oberfläche chemisch anziehen oder abstoßen. Andererseits ist dafür das Verhältnis von der Feinheit der Oberflächenstruktur und der Poren zur Tropfengröße entscheidend. Wenn die Struktur zu grob oder der Tropfen zu klein wird, bewirkt der Kapillardruck im Tropfen, dass dieser durch die Struktur hindurchsackt.**
- **Superamphiphobe Schichten könnten als Membran in Herz-Lungen-Maschinen oder für die Reinigung von Abgasen Verwendung finden.**

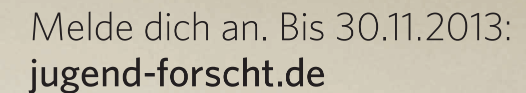
GLOSSAR

Kapillardruck: Innerhalb eines Tropfens herrscht durch die Oberflächenspannung ein erhöhter Druck, ähnlich wie bei einem Luftballon. Diesen Druck nennt man Kapillardruck. Er ist notwendig, um die Krümmung der Oberfläche aufrechtzuerhalten.

Oberflächenspannung: Die Kräfte zwischen den Teilchen einer Flüssigkeit bewirken, dass eine Flüssigkeit versucht, ihre Oberfläche zu minimieren. Deshalb bildet Wasser Tropfen, und zwar auch auf wasserabweisenden Oberflächen, nicht aber auf wasseranziehenden.

Fotos: MPI für Polymerforschung





VERWIRKLICHE
DEINE
IDEE.

GEFÖRDERT VOM

Bundesministerium
für Bildung
und Forschung





Die **ewige Pumpe**

Der hydrologische Kreislauf verteilt unermüdlich Wasser zwischen Land, Ozean, Atmosphäre und Kryosphäre. Wie das im Detail geschieht, erforschen **Stefan Hagemann** und seine Kollegen am **Max-Planck-Institut für Meteorologie** in Hamburg. Dabei untersuchen sie Rückkopplungen zwischen Feuchtgebieten, künstlicher Bewässerung, Permafrost und Klima.

TEXT **UTE KEHSE**

Foto: Okapia



Wassermoleküle sind immer auf Reisen. Sie wandern vom Ozean in die Atmosphäre, verteilen sich in alle Winkel der Kontinente und kehren schließlich, nach Tagen, Monaten oder Jahrhunderten, in den Ozean zurück. Von allen Stoffen, die am Kreislauf der Elemente auf der Erde teilnehmen, haben sie vielleicht das abwechslungsreichste Dasein. Ein Wassermolekül kann sich auf der Erde im festen, im flüssigen oder im gasförmigen Zustand befinden. Es kann im Meer umhertreiben, in die Lüfte steigen, als Wolke über den Himmel tanzen, in einem Eisstrom langsam über die Erdoberfläche kriechen oder zügig durch ein Flussbett plätschern. Es kann im Boden versickern, von einer Pflanze aufgesaugt und wieder abgesondert werden oder sich als Grundwasser allmählich einen Weg durch den Untergrund bahnen.

Der von der Sonne angetriebene Wasserkreislauf ist gigantisch: Die Atmosphäre enthält zu jedem beliebigen Zeitpunkt eine Menge an Wassermolekülen, die im flüssigen Zustand ein Volumen von 12 900 Kubikkilometern füllen würde. Diese Menge reicht, um den Erdboden weltweit 2,5 Zentimeter hoch zu bedecken. Doch insgesamt wälzt der hydrologische Kreislauf sogar ein Vielfaches dieser Feuchtigkeitsmenge um. Es ist, als ob der gesamte Wassergehalt der Atmosphäre etwa 40-mal pro Jahr komplett ausgetauscht würde.

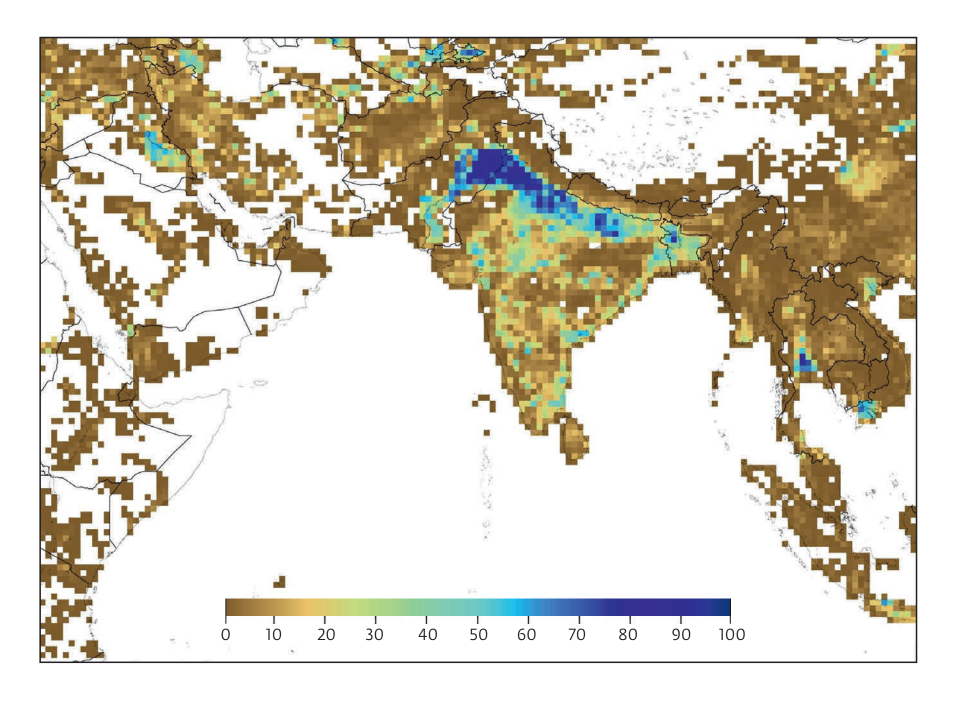
Die Reise des Wassers spielt für das Klima auf der Erde eine wichtige Rolle. Doch für Klimaforscher ist sie eine Zumutung. Nicht genug damit, dass Wasser so viele unterschiedliche Reiserouten und Transportwege nutzt. Viele hydrologische Prozesse spielen sich zudem auf sehr kleinem Raum ab. Lokale Vorgänge wie Gewittergüsse, die Verdunstung in Feuchtgebieten oder der Abfluss von Gletschern fallen durch das übliche Raster, mit dem Klimaforscher die Erde in ihren Modellen überziehen.

Immer in Bewegung: Als Regen gelangt Wasser aus der Atmosphäre in den Boden, in die Gewässer an Land und in die Ozeane – und verdunstet früher oder später wieder.

Die wichtigsten Werkzeuge der Wissenschaftler, die Erdsystemmodelle der neuesten Generation, können zwar die Temperaturen auf der Erde recht gut berechnen. Doch wenn es darum geht, den Niederschlag in einer Region abzuschätzen, haben sie noch ihre Schwächen. „Der Fehler liegt teilweise bei 50 bis 100 Prozent“, meint Stefan Hagemann. Der habilitierte Physiker arbeitet am Max-Planck-Institut für Meteorologie in Hamburg hart daran, dass sich das ändert: Er leitet die Arbeitsgruppe Terrestrische Hydrologie. Ziel des Teams ist es, jene Teile des Wasserzyklus besser zu verstehen, die an Land ablaufen – und ihre Rückkopplung mit dem Klima zu untersuchen.

NIEDERSCHLÄGE NEHMEN MIT DER ERDERWÄRMUNG ZU

Der wichtigste Zusammenhang besteht dabei in der Wechselwirkung zwischen Niederschlag und Temperatur. Wolken, Regen, Hagel und Schnee befördern nicht einfach nur einen lebenswichtigen Stoff über den Globus, sondern sie führen dabei auch Wärmeenergie mit sich – wenn auch versteckt, in latenter Form, wie Meteorologen das nennen. Wasserdampf zum Beispiel gibt Wärme ab, wenn er zu flüssigem Wasser kondensiert oder zu Eis erstarrt. Umgekehrt ist eine Energiezufuhr notwendig, damit Eis schmilzt oder sublimiert oder damit flüssiges Wasser verdunstet. Diese Energie holt sich das Wasser aus seiner Umgebung. Wo viel Wasser verdunstet, wird es folglich kühler. Dies ist auch der Grund, warum sich Regen auf der Haut kalt anfühlt oder warum Schweiß den Körper abkühlt. >



oben: Eine Karte der künstlichen Bewässerung: Die Farben stehen für den Anteil bewässerter Flächen. In braunen Bereichen liegt er unter 10 Prozent, in dunkelblauen bei 90 bis 100 Prozent.

unten: Künstliche Bewässerung beeinflusst das Klima: Die Simulationen zeigen die Wege von Tiefdruckgebieten über dem indischen Subkontinent jeweils für einige Tage der Monate Juli (a, c) und September (b, d). Mit Bewässerung (a, b) dringen die Tiefs an Land vor, ohne (c, d) nicht. Die farbigen Linien stehen für einen Luftdruck von 996 Millibar, die Zahlen geben die Tage des jeweiligen Monats an.

Wenn Klimaforscher die Temperaturen für die Zukunft korrekt prognostizieren wollen, müssen sie daher auch wissen, wie sich der Niederschlag entwickelt. „Generell kann man sagen, dass sich der Wasserkreislauf und die Niederschläge durch die globale Erwärmung intensivieren“, sagt Stefan Hagemann. Denn eine wärmere Atmosphäre kann mehr Wasser speichern. Doch es gibt auch Gebiete, die trockener werden. „Regnet es in einer eher trockenen Region noch weniger, dann kann dort die Verdunstung abnehmen und damit auch die Kühlung. Es wird dort also noch wärmer“, erläutert der Hamburger Forscher. Der sinkende Niederschlag verstärkt die Erwärmung mithin zusätzlich – eine positive Rückkopplung, wie sie im Buche steht.

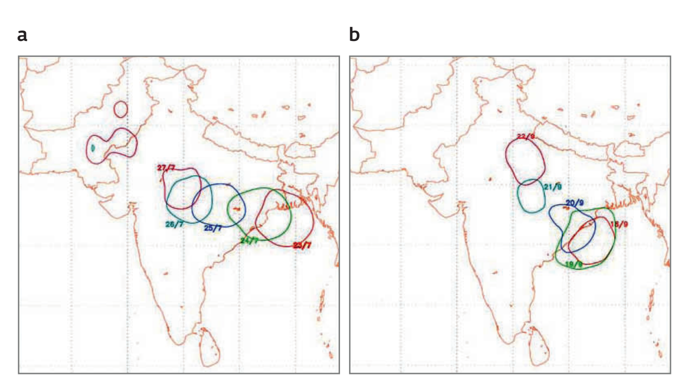
Hagemann und seine sechs Kollegen konzentrieren sich auf drei ganz unterschiedliche hydrologische Prozesse, die in den derzeitigen Klimamodellen noch nicht realistisch wiedergegeben werden, die aber unter Umständen starke Rückkopplungen mit dem Klima eingehen können. Zum einen untersuchen sie die Folgen der künstlichen Bewässerung. Wo für die Landwirtschaft Wasser auf den Feldern ausgebracht wird, steigt die Verdunstung – ein Effekt, der nicht nur die Temperaturen, sondern auch großräumige Luftströmungen in der Atmosphäre beeinflussen kann.

BEWÄSSERUNG BEEINFLUSST DIE REGIONALE TEMPERATUR

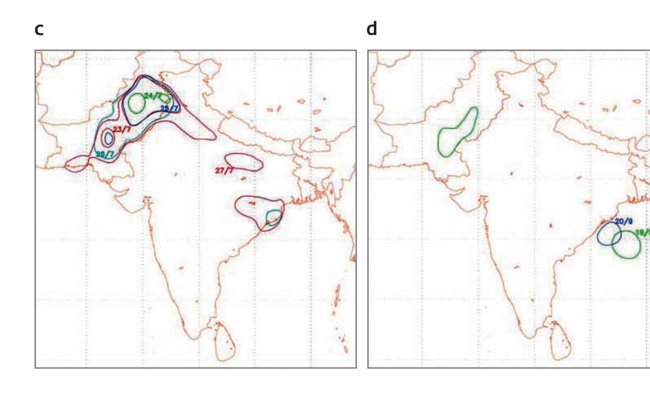
Zum zweiten modellieren die Hamburger Forscher das Wachsen und Schrumpfen von Feuchtgebieten in Abhängigkeit vom Klima. Ihr dritter Forschungsschwerpunkt ist der Permafrost. In den ständig gefrorenen Gebieten der hohen Breiten laufen eine ganze Reihe komplizierter hydrologischer Prozesse ab, von denen es abhängt, inwieweit der Boden im Sommer auftaut und wie viel Wasser dort gespeichert wird. Darüber hinaus möchte die Gruppe herausfinden, wie groß die Fehler sind, die verschiedene Klimamodelle derzeit noch bei der Berechnung des terrestrischen Wasserkreislaufs machen.

Ein besonders eindrucksvolles Beispiel dafür, wie wichtig hydrologische Prozesse für das regionale Klima sein können, untersuchte Fahad Saeed in

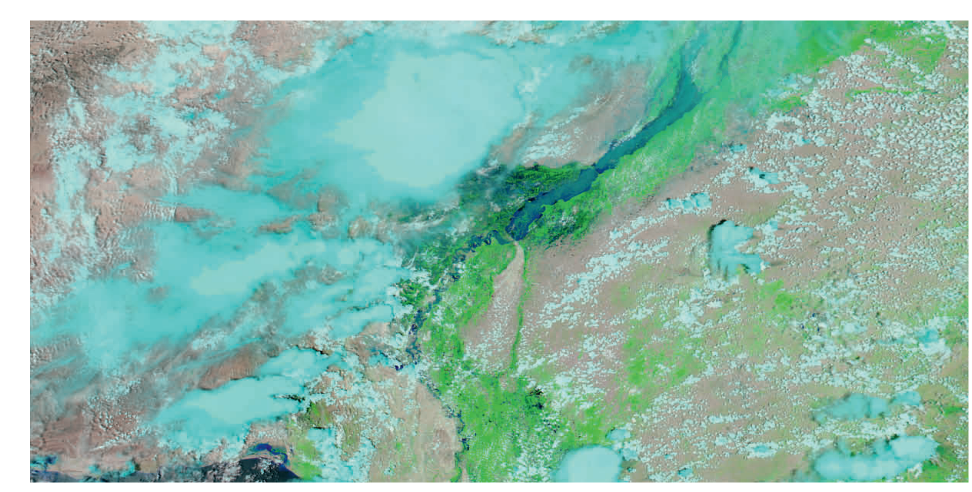
a b

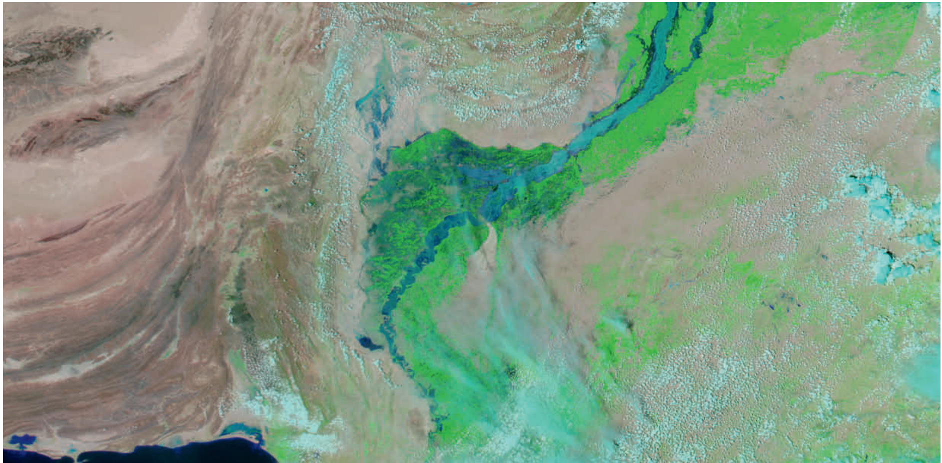


c d



Grafiken: MPI für Meteorologie – Saeed (oben), MPI für Meteorologie (unten, 4)





Im Vergleich zu seiner üblichen Breite (oben) schwillt der Indus während des Monsuns stark an (unten). Sein Wasser wird in Stauseen gespeichert, damit in der Trockenzeit die Felder damit versorgt werden können.

seiner Doktorarbeit. Der Physiker, der mittlerweile vom Hamburger Max-Planck-Institut zum Climate Service Center in Hamburg gewechselt ist, befasste sich mit der Bewässerung in Indien und Pakistan.

„Der indische Subkontinent ist eine der am intensivsten bewässerten Regionen der Welt“, sagt Saeed, der selbst aus dem Norden Pakistans stammt. Das Klima ist vom Monsun geprägt: Im Winter regnet es kaum, doch im Sommer strömt monatelang feuchte Meeresluft aus dem Arabischen Meer und dem Golf von Bengalen und regnet an den Hängen des Himalaja ab. An einigen Orten fallen im Durchschnitt 10 000 Millimeter Niederschlag pro Jahr – mehr als zehnmal so viel wie in Deutschland.

Die Ursache für den Monsun ist der starke Temperaturunterschied zwischen Land und Meer. In den Sommermonaten erwärmen sich die Landmassen viel stärker als der Ozean. Die heiße Luft über dem Subkontinent steigt auf und saugt dadurch vom Indischen Ozean feuchte Luft an, die ihre nasse Fracht über Land ablädt. Dämme und Stauseen fangen den üppigen Sommerregen auf, damit die Felder das ganze Jahr über bewässert werden können.

Eine ausgeklügelte Bewässerungstechnik war vermutlich bereits die Grundlage für die frühe Hochkultur am Indus vor mehr als 5000 Jahren. Auch heute wird das Wasser des gewaltigen Stromes im Nordwesten des Subkontinents intensiv genutzt: Im Einzugsgebiet des Indus befindet sich das größte zusammenhängende Bewässerungsgebiet der Welt, bestehend aus unzähligen Talsperren, Dämmen und einem riesigen Netz aus Kanälen und Rohrleitungen. Lediglich ein Achtel des Niederschlags im Einzugsgebiet des Indus, so schätzen Experten, erreicht noch die Mündung im Arabischen Meer. Der Rest wird erst auf den Feldern verteilt und verdunstet anschließend wieder.

Die gewaltigen Wasserdampfmengen, die aus dem Boden des Indus-Beckens aufsteigen, so entdeckte Fahad Saeed, haben einen großen Einfluss auf das gesamte Monsunklima in Indien. „Die Tiefdruckgebiete aus dem Golf von Bengalen würden ohne Bewässerung nicht sehr tief ins Landesinnere vordringen“, sagt der Physiker. Saeed verglich zwei verschiedene Versionen des regionalen Klimamodells REMO des Max-Planck-Instituts für Meteorologie. In die eine hatte er den Effekt der Bewässerung eingebaut, in die andere nicht. Wie er feststellte, entwickelte sich in dem Modell ohne Bewässerung stets ein zu starker Westwind vom Arabischen Meer in Richtung Golf von Bengalen, der die Monsuntiefs davon abhielt, nach Osten zu wandern. Im Modell mit Bewässerung war der störende Wind weniger stark ausgeprägt, sodass der Pfad der modellierten Tiefdruckgebiete besser mit den Beobachtungen übereinstimmte.

Durch die Berücksichtigung der Bewässerung gelang es auch, ein weiteres Defizit des regionalen Klimamodells zu beseitigen: Ein sogenanntes Hitzetief über Nordwestindien und Nordpakistan ließ sich mit dem veränderten Wasserhaushalt realistischer darstellen. In früheren Klimamodellen war dieses Hitzetief, ein stationäres Tiefdruckgebiet, das sich wegen der extremen Hitze im Sommer über der Thar-Wüste an der Grenze zwischen Indien und Pakistan bildet, zu stark ausgeprägt. Die von Modellen errechneten Temperaturen lagen dort zum teil fünf Grad Celsius über den tatsächlichen Werten, auch der modellierte Luftdruck war wesentlich niedriger als der beobachtete.

TAUEN GLETSCHER AB, FÜHRT DER INDUS WENIGER WASSER

Doch in Saeeds Modell mit Bewässerung verschwand dieser systematische Fehler, das Hitzetief war weniger intensiv. „Offenbar muss man die Bewässerung berücksichtigen, um das Monsunklima realistisch zu simulieren“, sagt Stefan Hagemann. Derzeit wirkt sich der menschliche Einfluss in der Region insgesamt positiv auf das Klima aus: Ohne das gigantische Bewässerungsgebiet am Indus wäre es in weiten Teilen Indiens nicht nur heißer, sondern auch deutlich trockener.

Möglicherweise aber wird die Quelle, aus der sich die Bewässerungsanlagen speisen, mit dem Klimawandel all-

Fotos: NASA



mählich versiegen. Denn ein großer Teil des Induswassers stammt aus den Gletschern des Himalaja. Tauen die Eismassen ab, nimmt die Wassermenge ab, die für die Bewässerung zur Verfügung steht. Dann könnte die Verdunstung im Bewässerungsgebiet sinken und ihr positiver Einfluss schwinden. Künftige Klimamodelle müssen daher auch Änderungen der Landnutzung berücksichtigen, sagt Hagemann.

Einen mindestens ebenso wichtigen Einfluss auf das Klimasystem wie die Bewässerung haben Feuchtgebiete. Sümpfe, Moore, Auen und Marschländer speichern nicht nur Wasser, sondern nehmen auch Kohlenstoff auf. Da sich organisches Material in Feuchtgebieten nur sehr langsam zersetzt, sammelt sich der Kohlenstoff über die Jahre und Jahrtausende an. Moore gelten beispielsweise als effektivste Kohlenstoffspeicher an Land.

Insgesamt enthalten Feuchtgebiete ungefähr so viel Kohlenstoff wie die Atmosphäre. Allerdings setzen sie auch Treibhausgase frei: Wenn das organische Material aerob abgebaut wird, dünsten sie Kohlendioxid aus. Wenn kein Sauerstoff vorhanden ist, entsteht das wesentlich wirksamere Treibhausgas Methan. Ob eine Sumpflandschaft Kohlenstoff aufnimmt oder abgibt und in welcher Form sie das tut, hängt vor allem vom Wasserspiegel ab. Einige Forscher vermuten, dass Feuchtgebiete sich durch die globale Erwärmung von Kohlenstoff-Senken in -Quellen verwandeln könnten, weil die Methanbakterien in sauerstoffarmen Faulschlämmen bei höheren Temperaturen aktiver werden.

Damit diese Zusammenhänge in Zukunft von Erdsystemmodellen berechnet werden können, hat Tobias Stacke aus der Hamburger Arbeitsgruppe in seiner Doktorarbeit ein Modell entwickelt, in dem das Wachsen und Schrumpfen von Feuchtgebieten simuliert wird. In den höheren Breiten dehnen sich kleinere Gewässer zum Beispiel im Frühjahr nach der Schneeschmelze zu regelrechten Seenplatten aus. Ändert sich das Klima in einer Region langfristig, hat dies ebenfalls Auswirkungen auf die Feuchtgebiete, die sich dort befinden.

DAS MODELL BERECHNET SEEN AN DEN RICHTIGEN STELLEN

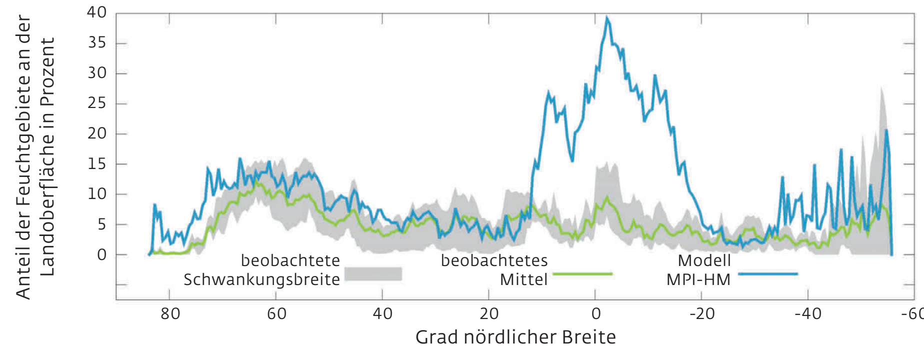
Stacke baute diese Prozesse zunächst in ein spezielles Hydrologiemodell des Instituts ein, ein Programm mit dem Namen MPI-HM. „Dieses Modell ist relativ einfach, liefert aber genauso gute Ergebnisse wie andere, wesentlich kompliziertere Hydrologiemodelle“, betont Stefan Hagemann. Es ist daher ein ausgezeichnetes Werkzeug, um neue Programmteile wie das Feuchtgebietsmodul zu testen. Als Eingabe verwendet MPI-HM entweder beobachtete oder modellierte Niederschlagsdaten. Das Modell berechnet dann zum Beispiel die Verdunstung, den Abfluss und die Bodenfeuchte – entweder für eine bestimmte Region oder für die gesamte Erde.

Um herauszufinden, wie realistisch die Ergebnisse seines Modells sind, simulierte Stacke damit die Verteilung der Feuchtgebiete im mittleren Holozän vor 6000 Jahren. Damals fiel etwa in der Sahara wesentlich mehr Niederschlag als heute, auch in Südasien war das Klima feuchter. In Afrika gab es ausgedehnte Seen, etwa den Tschadsee am Südrand der Sahara. Das Gewässer bedeckte 400 000 Quadratkilometer – mehr als das Kaspische Meer heute. Auch im Modell entstanden solche Megaseen an den richtigen Stellen.

Für das heutige Klima lieferte das Modell ebenfalls die richtige Verteilung und Ausdehnung der Feuchtgebiete. Da es sich bewährt hat, arbeitet Tobias Stacke derzeit daran, sein Modell in das Landmodell JSBACH des Max-Planck-Instituts in Hamburg einzugliedern, das wiederum Teil des aktuellen Erdsystemmodells ist. Dabei arbeitet er eng mit Forschern aus Victor Brovkins Arbeitsgruppe Wechselwirkung Klima-Biogeo-



Feuchtgebiete wie in Schottland (links) speichern große Mengen Kohlenstoff, der sonst als Kohlendioxid oder Methan in der Atmosphäre den Treibhauseffekt verstärken würde. Das Modell MPI-HM der Hamburger Forscher simuliert gut, wie viel der Landoberfläche von Feuchtgebieten bedeckt ist (unten). Nur in den Tropen berechnet es einen zu hohen Anteil.



sphäre zusammen, die vor allem an der Methanproduktion der Feuchtgebiete interessiert sind.

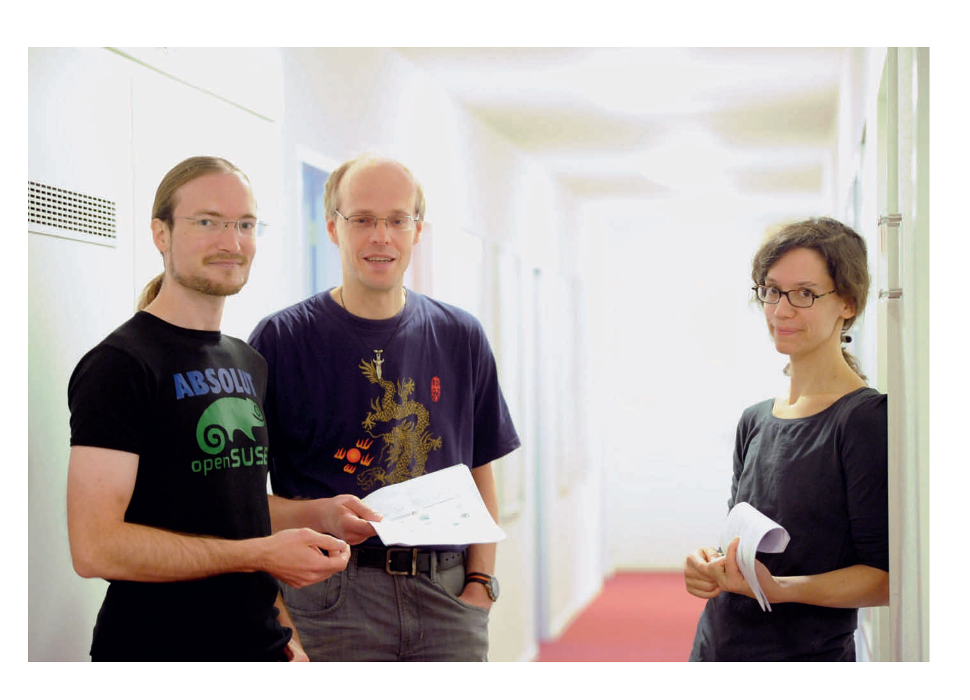
Als Quellen des Treibhausgases Methan sind auch die nördlichsten Landflächen der Erde gefürchtet – jene Regionen in Nordamerika oder Sibirien, in denen der Boden permanent gefroren ist. Permafrostgebiete speichern wie Feuchtgebiete große Mengen Kohlenstoff in organischer Materie; sie sind sozusagen tiefgefrorene Sümpfe. Taut der Boden dort auf, könnte sich der angesammelte Kohlenstoff schnell zersetzen. Es gelangten zusätzliche Mengen Methan und Kohlendioxid in die Atmosphäre, die die Erwärmung verstärken würden. Schon lange fragen sich Klimaforscher daher, wie der Permafrost auf die globale Erwärmung reagieren wird – wo, wie schnell und wie tief der Boden auftauen wird.

Allerdings sind diese Fragen nicht so leicht zu beantworten, da die Hydrologie des Permafrostes viel komplizierter ist als die von gewöhnlichem Boden. Schuld daran ist die dünne, aktive Schicht, die im Sommer auftaut und die dann über der weitgehend wasserundurchlässigen gefrorenen Schicht liegt. Die oberste Schicht ist oftmals recht sumpfig, selbst in Gebieten mit geringem Niederschlag. Im Winter fließt nur extrem wenig Wasser ab, im Frühling, zur Schneeschmelze, dagegen wesentlich mehr.

Da das Tauwasser nicht tief in den Boden eindringen kann, fließt es viel schneller ab als in gemäßigten Breiten. Zudem wachsen in Permafrostböden häufig metergroße Eiskeile heran, die zum Beispiel nach heftigen Regengüssen plötzlich kollabieren können. Dann bilden sich sogenannte Thermokarst-Seen, welche wiederum die Erosion des Bodens fördern.

DER BODEN WIRKT WIE EIN GEDÄCHTNIS

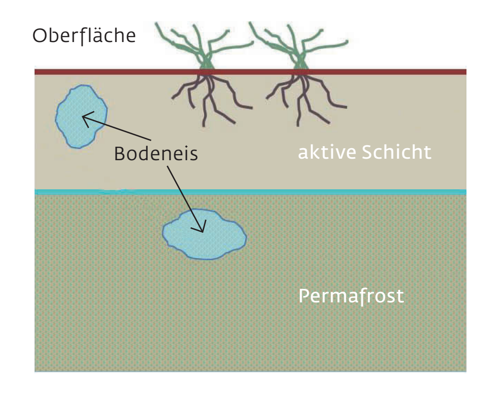
Wie Vergleichstests zeigen, versagen die derzeitigen Erdsystemmodelle noch dabei, das spezifische hydrologische Ver-



Tobias Stacke, Stefan Hagemann und Tanja Blome (von links) erforschen das Zusammenspiel zwischen Wasserkreislauf und Klima.

Foto: Michael Zapf; Grafik: MPI für Meteorologie

Eine mögliche Quelle von Treibhausgasen: Permafrostböden in Sibirien oder wie hier in Zentralisland enthalten viel unzersetztes organisches Material (oben). Im Sommer taut die aktive Schicht auf. Dagegen bleibt der Boden tiefer unter der Oberfläche gefroren (unten), sodass Schmelzwasser schneller abfließt. In Zentralisland speist das Wasser auch den Fluss Thjorsa.



halten der Permafrostböden im heutigen Klima korrekt wiederzugeben. „Die meisten Erdsystemmodelle beziehen nicht einmal die einfachsten Prozesse ein, die im Permafrost ablaufen, etwa das Gefrieren und Tauen des Bodenwassers“, bemängelt Stefan Hagemann. Seine Gruppe will das ändern: Die Forscher sind am EU-Projekt PAGE21 beteiligt, das die Verwundbarkeit der Permafrostgebiete durch den Klimawandel untersucht.

Tanja Blome beschäftigt sich derzeit mit den Permafrost-typischen hydrologischen Prozessen. Sie kooperiert in diesem Projekt eng mit Kollegen des Max-Planck-Instituts für Biogeochemie in Jena, die diese Prozesse in das Max-Planck-Landsystemmodell JSBACH eingebaut haben, um die Methanproduktion der Dauerfrostböden zuverlässiger zu simulieren.

Sei es in Permafrostböden, in Feuchtgebieten oder in der künstlich bewässerten Kulturlandschaft des indischen Subkontinents – der Wasserhaushalt an Land und folglich die Bodenfeuchte können für mittelfristige Vorhersagen regional eine zentrale Rolle spielen. Daher engagiert sich Stefan Hagemanns Gruppe auch im BMBF-Projekt MiKlip (Mittelfristige Klimaprognosen). Dabei geht es darum, Klimaprognosen für die nächsten Jahre bis hin zu Dekaden zu verbessern.

Ein detailliertes Verständnis der hydrologischen Prozesse an Land kann dabei helfen: Da der Boden Wasser über lange Zeit speichern kann, wirkt er wie ein Gedächtnis. Eine Trockenzeit oder eine Überschwemmung können sich noch nach Monaten auf Temperaturen und Niederschlag auswirken. Wie stark die Pflanzen wachsen und wie viel Wasser sie durch ihre Poren abgeben, ist ebenfalls von der Bodenfeuchte abhängig.

Bislang ging die Bodenfeuchte allerdings nur sehr vereinfacht in das Erd-

Foto: SPL-Agentur Focus; Grafik: MPI für Meteorologie

systemmodell des Max-Planck-Instituts für Meteorologie ein: „Der Boden wurde als eine einzige Schicht dargestellt", berichtet Hagemann. Modellpflanzen und Verdunstung saugten das Regenwasser nach und nach wieder aus dem Boden heraus. In Trockenzeiten sank die Bodenfeuchte in den Modellen schnell auf null, sodass kein Wasser mehr verdunsten konnte. „Das ist aber unrealistisch", sagt Hagemann. Dieser Fehler zeigt sich in einigen Gegenden, etwa an der Donau oder am Amazonas, wo das Modell regelmäßig höhere Sommertemperaturen errechnet, als in Wirklichkeit auftreten.

WIE FEUCHT IST DER BODEN IN GRÖSSERER TIEFE?

Um das Problem zu beheben, stellt Stefan Hagemann den Boden in der neuesten Modellversion in Form von fünf übereinanderliegenden Schichten dar. „Besonders in mitteltrockenen Gebieten, wo ein Teil des Bodens nicht von Vegetation bedeckt ist, bekommen wir dadurch eine bessere Beschreibung", sagt der Forscher.

Da es schwierig ist, die Bodenfeuchte flächendeckend zu messen, arbeitet Hagemann auch daran, die Modelldaten mit Satellitendaten abzugleichen. „Der Satellit sieht nur die obersten paar Zentimeter des Bodens", berichtet er. Daher lässt sich bislang kaum sagen, wie feucht der Boden in größerer Tiefe ist. Hagemanns Ziel besteht nun darin, dies mithilfe seines neuen Modells aus den Satellitendaten zu errechnen. Diese Forschungsarbeiten interessieren auch die europäische Raumfahrtagentur ESA, erklärt der Physiker: „Dort will man das Modell nutzen, um die Satellitendaten zu evaluieren."

Die Zusammenarbeit mit anderen Forschern innerhalb und außerhalb der Max-Planck-Gesellschaft ist für Hagemanns Arbeitsgruppe sehr wichtig, zumal sich das Team komplett aus Drittmitteln finanziert. Neben dem BMBF-Projekt MiKlip und dem EU-Projekt Page21 sind die Forscher derzeit auch am EU-Projekt Embrace (Earth system Model Bias Reduction and assessing Abrupt Climate changE) beteiligt, in dem es darum geht, Erdsystemmodelle zu verbessern. In diesen umfassenden Forschungsvorhaben tragen die Hamburger Meteorologen Kenntnisse bei, die bisher kaum berücksichtigt wurden: Detailwissen von der ewigen Pumpe, die Wasser durch das Erdsystem bewegt. ◂

AUF DEN PUNKT GEBRACHT

- Zwischen Land, Ozeanen, Atmosphäre und Kryosphäre wird ständig Feuchtigkeit in gigantischen Mengen bewegt – so viel, als würde das gesamte Wasser in der Atmosphäre 40-mal pro Jahr ausgetauscht. Dabei ist der Wasserkreislauf an Land eng mit dem regionalen und globalen Klima gekoppelt.
- Wie Simulationen der Forscher am Max-Planck-Institut für Meteorologie zeigen, führt die massive Bewässerung auf dem indischen Subkontinent dazu, dass es in der Region weniger heiß und trocken ist als in einem Klima ohne Bewässerung. Mit der Erderwärmung könnte dafür weniger Wasser zur Verfügung stehen.
- Ob Feuchtgebiete Kohlendioxid oder Methan abgeben, hängt vom Wasserspiegel in den Ökosystemen ab. Simulationen des Wasserhaushalts von Sümpfen, Mooren, Auen und Marschländern helfen somit dabei, deren Rolle im Klimasystem genauer zu bestimmen.
- Auch für Vorhersagen, ob Permafrostböden im Zuge des Klimawandels mehr Treibhausgase freisetzen, ist die Kenntnis des Wasserhaushalts in diesen Gebieten nötig. Denn die bisher ganzjährig gefrorenen Böden könnten künftig desto mehr Kohlendioxid und Methan emittieren, je weiter sie auftauen.

Artist im Zahlenreich

Für manche ist die Mathematik nichts weiter als eine Ansammlung abstrakter Formeln und trockener Rechenrezepte. Nicht so für **Friedrich Hirzebruch**, den Gründungsdirektor des **Max-Planck-Instituts für Mathematik** in Bonn: Er war der Schönheit des Fachs schon in seiner Jugend erlegen. Als „Nestor der deutschen Nachkriegsmathematik" machte Hirzebruch die Stadt am Rhein zu einem Anziehungspunkt für Forscher aus aller Welt.

TEXT **ELKE MAIER**

„Das Funktionieren eines mathematischen Instituts ist im Prinzip äußerst einfach", schrieb 1984 der holländische Mathematiker Hendrik W. Lenstra jr.: „An der Vorderseite gehen große Stapel doppelseitig-leeren Papiers herein. Ein spezialisierter Stab von Typisten, Dozenten und Übungsgruppenleitern hat zur Aufgabe, alle Blättchen auf einer Seite unbrauchbar zu machen. Der so verarbeitete Vorrat wird in die Postfächer der Mathematiker ehrlich verteilt, die sich über die andere Seite hermachen. Das nun gänzlich unbrauchbar gemachte Papier verläßt das Gebäude an der Hinterseite."

Das Max-Planck-Institut für Mathematik ist in einem historischen Palais in der Bonner Innenstadt untergebracht, nur fünf Minuten Fußmarsch entfernt vom Hauptbahnhof. Auch heute noch arbeiten die Wissenschaftler hier gerne mit Papier und Bleistift, meist jeder für sich in seinem Büro. Jeden Tag um Punkt 16 Uhr jedoch verlassen sie ihre Schreibtische, um sich zu ihrer traditionellen Teerunde zu treffen und über mathematische Probleme zu plaudern. Urheber des geselligen Rituals war Friedrich Hirzebruch. Mit seinem beharrlichen Einsatz, den wissenschaftlichen Austausch zu fördern, hat er nicht nur die Teerunde ins Leben gerufen, sondern auch das Institut selbst.

Friedrich Hirzebruch wurde am 17. Oktober 1927 in Hamm in Westfalen geboren. Als Sohn eines Mathematiklehrers kam er mit der Welt der Zahlen schon früh in Berührung. So beschäftigte ihn bereits mit neun Jahren die Frage, warum die Wurzel aus zwei irrational ist. Mit 16 Jahren wurde Hirzebruch als Luftwaffenhelfer eingezogen. Während er am Himmel nach feindlichen Flugzeugen Ausschau hielt, beobachtete er am nächtlichen Firmament sphärische Dreiecke und andere Sternfiguren und stellte im Kopf Berechnungen zu ihrer Geometrie an. Seine Zeit in alliierter Kriegsgefangenschaft nutzte er, um mathematische Beweise herzuleiten – auf Toilettenpapier.

Nach Kriegsende wurde Hirzebruch zum Arbeitseinsatz in einer britischen Kaserne abkommandiert. Wenig später war er wieder auf freiem Fuß: „Ein britischer Offizier, der fließend Deutsch sprach, unterhielt sich mit mir über meine Studienabsichten und war davon so angetan, dass er den Arbeitseinsatz für beendet erklärte, mich in seinem Jeep nach Hause brachte und aufforderte, nichts anderes mehr als Mathematik zu machen…", erinnerte er sich später.

Diesem weisen Rat folgend, begann Friedrich Hirzebruch im Dezember 1945 in Münster sein Mathematikstudium. Dort machte er die Bekanntschaft Heinrich Behnkes, der ihn in die komplexe Analysis und die Geometrie einführte. Ein anderer prägender Lehrer war Heinz Hopf von der ETH Zürich, bei dem er die Topologie kennenlernte. Diese Disziplin beschäftigt sich mit den besonderen Eigenschaften geometrischer Figuren, die unter Verformung erhalten bleiben – der Oberfläche eines Knetgummiwürfels etwa, aus dem sich ganz einfach eine Kugel formen lässt.

Im Jahr 1950 promovierte Hirzebruch schließlich mit einer Arbeit über vierdimensionale Riemann'sche Flächen. Der brillante Mathematiker Bernhard Riemann hatte im 19. Jahrhundert einen ganz eigenen Zweig der Geometrie begründet. Bis dahin war die mehr als 2000 Jahre alte Lehre des Griechen Euklid gebräuchlich. Sie muss allerdings passen, wenn es um gekrümmte Objekte, etwa gebogene Flächen, geht.

Erst Riemann fand heraus, wie sich Winkel, Längen, Abstände und Volumen von Räumen beliebiger Dimension bestimmen lassen. Das wurde rund 50 Jahre später zum mathematischen Rahmen der Relativitätstheorie, denn nun konnte Einstein zeigen, dass die Gravitationskraft eine Krümmung der Raumzeit bewirkt – ähnlich einer Kugel, die in einem gespannten Tuch eine Delle hinterlässt.

Wissenschaft an der Wandtafel: In seinen Vorlesungen verstand es Friedrich Hirzebruch, seine Faszination für die Mathematik auch an die Zuhörer weiterzugeben.

Foto: MPG/Wolfgang Filser



Im Kreis seiner Schüler: In der Bibliothek plaudert Friedrich Hirzebruch mit dem Nachwuchs über mathematische Fragen. Beliebt waren seine „Sektprobleme“, für deren Lösung er eine Flasche Schaumwein auslobte.

Mit der Promotion in der Tasche trat Friedrich Hirzebruch eine Assistentenstelle in Erlangen an. Wenig später erhielt er eine Einladung, die seine weitere Karriere prägen sollte. Er bekam die Chance, am berühmten *Institute for Advanced Studies* in Princeton zu arbeiten. Das Institut galt als Ideenschmiede und Anziehungspunkt für die internationale Forscherelite. Während in Deutschland die Wissenschaft nach dem Krieg brachlag, traf man in Princeton Albert Einstein und den genialen Logiker Kurt Gödel ebenso wie den angesehenen deutschen Mathematiker Hermann Weyl, der 1933 in die USA emigriert war.

Am 18. August 1952 wurde Friedrich Hirzebruch nach neuntägiger Schiffsreise am Hafen von Donald Spencer empfangen. Mit ihm sollte er in den kommenden zwei Jahren in Princeton eng zusammenarbeiten, ebenso wie mit den anderen Mathematik-Koryphäen Armand Borel und Kunihiko Kodaira, dem wenig später die Fields-Medaille verliehen wurde.

Die Atmosphäre am Institut schlug Hirzebruch von Anfang an in Bann. Spencer, Borel und Kodaira machten ihn mit Methoden vertraut, die in Deutschland bis dahin unbekannt waren und so exotische Namen trugen wie „kohärente analytische Garben“ „Vektorraumbündel“ oder „Thoms Kobordismus“. Hirzebruch griff die neuen Denkansätze auf, entwickelte sie weiter und kreierte

General-Anzeiger Bonn vom 31. Oktober 1995



Was bedeutet ihm [Hirzebruch] die Mathematik? „Sie besticht wegen der Schönheit der Ideen und des Zusammenhangs ihrer verschiedenen Teile, wegen des Glanzes der Beweise, der Vielfalt der Probleme und auch wegen ihrer 6000 Jahre alten Vergangenheit. Mathematische Probleme, die vor Jahrhunderten diskutiert wurden, sind heute noch im Gespräch.«

eigene mathematische Werkzeuge. Seine Habilitationsschrift, die unter dem Titel *Neue topologische Methoden in der algebraischen Geometrie* als Buch erschienen ist, vereint die Ergebnisse aus dieser Zeit. Die Schrift gilt noch heute als Standardwerk.

In Princeton gelang Hirzebruch schließlich auch der ganz große Wurf: Ausgangspunkt für seine berühmteste Entdeckung war ein Satz, in dem Bernhard Riemann und sein Schüler Gustav Roch in einer einzigen kompakten Formel Algebra, Analysis und Geometrie vereinigt hatten. Der Riemann-Roch-Satz behandelt, vereinfacht gesagt, die Frage, wie viele algebraisch definierte Funktionen einer gewissen Sorte es gibt, deren Null- und Polstellen ganz bestimmte Bedingungen erfüllen. Hirzebruch hat diesen Satz radikal verallgemeinert und so auf beliebige Dimensionen ausgeweitet.

An diesem Problem hatten sich bis dahin schon viele Mathematiker die Zähne ausgebissen. Entsprechend groß war die Begeisterung, als der Mittzwanziger das Problem gelöst hatte: „Ich fühlte mich wie im Paradies“, schwärmte der italienische Mathematiker Francesco Severi, nachdem er Friedrich Hirzebruch auf einem Kongress erlebt hatte. Doch auch etwas nüchterner betrachtet zählt das Hirzebruch-Riemann-Roch-Theorem sicher zu den wichtigsten Errungenschaften der Mathematik des 20. Jahrhunderts. Es spielt auch innerhalb der modernen theoretischen Physik in der Stringtheorie eine Rolle.

Friedrich Hirzebruch brachte sein Theorem neben internationalem Ansehen eine Professur in Bonn ein. Und weil er in Princeton erfahren hatte, wie wichtig der internationale Austausch für die Entwicklung von Ideen sein kann, wollte er etwas von der dortigen Atmosphäre an den Rhein holen.

Sein erster Schritt war, eine Arbeitstagung zu organisieren. Dieses Treffen für Mathematiker aus aller Welt fand erstmals 1957 im kleinen Kreis statt und wandelte sich mit der Zeit von einer Art Familientreffen zu einer jährlichen Veranstaltung mit mehr als 200 Gästen. Hirzebruchs Konzept war ungewöhnlich, denn ein festgelegtes Programm gab es nicht. Stattdessen entschieden die Gäste gemeinsam, wer über welches Thema referieren sollte. Viele der Vorträge wurden aus dem Stegreif gehalten, und so konnte auch mancher Beweis, der erst in letzter Minute fertig geworden war, gleich brandneu präsentiert werden.

Neue Ideen wurden aber nicht nur in den Tagungsräumen geboren, sondern auch während der traditionellen Bootsfahrt auf dem Rhein. Und die eine oder andere Zeitung berichtete, dass manches von dem, was dabei herauskam, klangvolle Namen erhalten habe – zu Ehren des Dampfers, auf dem die Forscher über den Rhein schipperten.

Die Arbeitstagung war von Anfang an ein voller Erfolg. Bis Hirzebruch seinen Traum verwirklichen und eine Forschungsstätte nach dem Vorbild des Instituts in Princeton gründen konnte, sollte jedoch noch fast ein Vierteljahrhundert vergehen. Die Kommentare zu seinem ersten Antrag fielen ernüchternd aus: „Es erscheint zweifelhaft, ob sich das von ihm bisher bearbeitete sehr abstrakte Gebiet weiter erschließen und fruchtbar machen läßt“, schrieb 1960 einer der Gutachter, und er halte es für möglich, ja sogar für wahrscheinlich, „daß diese ganze Richtung sich schon in wenigen Jahren totlaufen wird“.

Friedrich Hirzebruch ließ sich dadurch nicht beirren. Die nächste große Chance kam einige Jahre später. Die Deutsche Forschungsgemeinschaft hatte Sonderforschungsbereiche eingerichtet. Diesmal hatte Hirzebruchs Antrag Erfolg. Und so wurde im Jahr 1969 an der Universität Bonn der Sonderforschungsbereich Nummer 40 „Theoretische Mathematik“ ins Leben gerufen.

Hirzebruchs Einsatz ist es auch zu verdanken, dass aus dieser zeitlich befristeten Förderung 1981 das Max-Planck-Institut für Mathematik hervorging. Unter seiner Leitung entwickelte es sich zu einem internationalen Zentrum. 70 bis 80 Wissenschaftler arbeiten hier jeweils bis zu zwei Jahre und bringen Ideen aus aller Welt nach Bonn, ganz im Sinne Hirzebruchs. Denn Wissenschaft soll nicht im stillen Kämmerlein stattfinden, so seine Überzeugung. Vergangenes Jahr ist der „Nestor der deutschen Nachkriegsmathematik“ im Alter von 84 Jahren gestorben.



bar
0.959
MAX
0.962
KELLER
SELECT
ENTER
Max./Min.
swiss made
www.keller-druck.ch
Mano 2000
bar
0.959
LEO 2
MAX
0.960
KELLER
SELECT
swiss made
Max./Min.
ENTER
Mano 2000
bar
8.968
MAX
10.562
KELLER
LEO 3
Max./Min.
SELECT
ENTER
swiss made
www.keller-druck.ch
be inspired
keller-druck.com


Mano 2000
Bar
0.96
ECO 1
MAX
0.97
KELLER
ON/OFF
RESET
swiss made
MAX.
MIN.
Mano 2000
Bar
8.95
10.90
KELLER
EV-120
SELECT
ENTER
swiss made
www.keller-druck.ch
bar
-18.959
MAX
18.962
LEX 1
Max./Min.
SELECT
ENTER



Wie Wagner wirkt

Sven Oliver Müller, **Richard Wagner und die Deutschen**, Eine Geschichte von Hass und Hingabe

351 Seiten, Verlag C. H. Beck, München 2013, 22,95 Euro

Beginnen wir mit einem Geständnis: Vorwissen gibt es keins, Emotionen auch keine. Aber der „Hass" und die „Hingabe" des Buchuntertitels reizen und verleiten zum Herantasten an den Hauptdarsteller. Jahrzehnte nach der Klassenfahrt, die auch Bayreuth zum Ziel hatte.

Ist *Richard Wagner und die Deutschen* also für jemanden zu bewältigen, der nie eine Wageneroper genossen hat und dem stattdessen der donnernde Hubschrauberangriff im Vietnamfilm *Apocalypse Now* in den Sinn kommt, den Francis Ford Coppola musikalisch-bombastisch in Wagners *Walkürenritt* tauchte? Eigentlich ist das egal. Denn schon nach wenigen Seiten hat man sich selbst als Wagnerlaie warmgelesen.

Es gilt lediglich eine, wenn auch nicht leichte, Entscheidung zu treffen: Soll man die nicht eben wenigen Anmerkungen jedes Mal hinten im Anhang nachschlagen oder nicht? Mit immerhin 43 Seiten Fußnoten und 106 Büchern und Aufsätzen in den Literaturhinweisen wartet das Werk des Historikers Sven Oliver Müller auf. Ganz seinem Sujet gemäß ist es in fünf Aufzüge plus Ouvertüre und Finale gegliedert, jeder Aufzug handelt eine „Epoche" ab: Kaiserreich, Weimarer Republik, Nationalsozialismus, frühe Bundesrepublik und wiedervereinigtes Deutschland.

Der Autor, Wissenschaftler am Max-Planck-Institut für Bildungsforschung, liefert 130 Jahre Rezeptionsgeschichte und legt damit den Schwerpunkt auf die Wirkung, nicht auf das Werk oder das Leben Wagners; beides wird so gut wie ausgeblendet, wenngleich das Œuvre natürlich als Projektionsfläche vieler Deutungen und Emotionen aufscheint. Letztere treten, wie der Untertitel schon sagt, in der Regel in extremer Form zutage; neutral abwägend waren Wagnerfans oder -ablehner selten.

Dabei wird Emotion als soziales Phänomen verhandelt, das Aushandlungsprozesse anstößt; die Grundlage dafür, dass sich Gemeinschaften bilden. Die Gruppen derer, die bloß spontane Bewunderung laut in die Öffentlichkeit trugen, sind weniger spannend als die, die in ausgeklügelter Manier politische Absichten hegten und so den dritten Aufzug „Verherrlichung und Zwang – Wagner im Nationalsozialismus" besonders interessant machen. Man liest von Hitler als Mitglied des alljährlich in Bayreuth logierenden Wagnerclans, angetreten, um die Festspiele als Staatsakt vor angekarrtem Publikum zu zelebrieren und, vermutlich, um die völlige Entrückung bei dem einst im Alter von zwölf Jahren empfangenen Erweckungserlebnis in Sachen Wagner zu erneuern.

Dazu musste Wagner als Bereicherung der Volksgemeinschaft und nicht als elitäre bildungsbürgerliche Ikone inszeniert werden, die er heute noch ist – auch wenn die gartenzwergkleinen, farbigen Wagnerfiguren dieses Jahres in Bayreuth den Meister eher als lächerlich-kindlichen Benjamin-Button-Verschnitt erscheinen lassen. Die detailreich beschriebene musikalische Erziehung des militärisch besiegten Feindes Frankreich fasziniert den Laien ebenso wie die Tatsache, dass die Wageneropern in den 1940er-Jahren in Deutschland trotzdem finanzielle Debakel und mitnichten Publikumsrenner waren.

Der Eindruck eines extrem facettenreichen Umgangs von Sven Oliver Müller mit Wagner resultiert aus dem wahren Zitatfeuerwerk, das er abfackelt. Doch, um im Bild zu bleiben, nicht nur die Menge an Raketen ist beachtlich, auch ihre funkelnden Inhalte sind nicht selten zum „Ah"- und „Oh"-Rufen: Wagner, je nach Überzeugung der Meister, das Genie, die schwierige Persönlichkeit, der erste Marketingspezialist des Kaiserreichs oder auch das Monstrum, forderte durch seine polarisierende Musik und die ungeheure Wirkung beim Resonanzkörper Publikum besonders Intellektuelle, Schriftsteller und wortgewandte Menschen offenbar heraus, sprachliche Höchstleistungen zu fabrizieren.

Da macht Lesen Spaß. So rahmen die geistreichen Witzeleien zweier amerikanischer Juden das Buch sozusagen ein; Woody Allens „Wenn ich zu viel Wagner höre, verspüre ich den Drang, Polen zu erobern" krönt den ersten Teil des Buchs, während Leonard Bernstein es beschließen darf: „Ich hasse Wagner, aber auf Knien." Dazwischen entfaltet sich ein abwechslungsreiches Gesellschaftstableau, das zentrale Strömungen der Geschichte des 19. und 20. Jahrhunderts präsentiert und Blicke auf „Herrschaft und Gewalt, Politik und Migration, soziales Wachstum und neue Unübersichtlichkeit" wirft. Wen diese an Umbrüchen nicht arme Zeit mit Wagner als alles überstrahlendem, verbindendem Mediator nicht reizt – der spiele die CD *Walking mit Wagner* auf seinen iPod und suche Entspannung beim Laufen mit *Isoldes Liebestod* in freier Natur.

Susanne Beer



Der Himmel auf Erden

Florian Freistetter, **Der Komet im Cocktailglas**, Wie Astronomie unseren Alltag bestimmt

224 Seiten, Carl Hanser Verlag, München 2013, 16,90 Euro

Im Winter ist es kälter als im Sommer, die Sonne geht jeden Tag im Osten auf und im Westen unter, und der Mond ist mal eine Scheibe, mal eine Sichel und mal gar nicht zu sehen. Ungefähr auf diese Beobachtungen beschränkt sich das Wissen der meisten Zeitgenossen über „Astronomie im Alltag". Dass sich hinter diesem Thema ein viel weiteres Feld mit ungeahnten Überraschungen verbirgt, zeigt Florian Freistetter in seinem jetzt vorgelegten Buch *Der Komet im Cocktailglas*.

Der Titel verrät, in welche Richtung der Autor, promovierter Astronom und bekannter Blogger („Astrodicticum simplex"), zielt: Er sucht gleichsam den Himmel auf Erden, sprich, das Universum in uns und unserer unmittelbaren Umgebung – auf der Straße, im Park und in der Bar. Mit diesen Ortsangaben sind auch die drei ersten Abschnitte überschrieben. Schließlich führt er uns im vierten Teil des Buchs auch noch dorthin, wo man die engste Berührung mit der Astronomie vermutet: unter den Sternenhimmel.

Um Florian Freistetters Ansatz zu verstehen, sei aus der Einleitung zitiert: „Der Schatten, den ein Baum wirft, und der Wind, der seine Blätter zum Rascheln bringt, sagen uns etwas darüber, wie sich unser Planet bewegt. Der Staub am Boden erzählt von gewaltigen Katastrophen, und blühende Blumen und zwitschernde Vögel zeigen uns, was diese Katastrophen für Folgen haben. Das Frühstücksbrötchen berichtet von seinem Ursprung in gewaltigen Feuern im Inneren der Sterne."

Wer jetzt neugierig geworden ist, dem sei das Buch nachdrücklich empfohlen. Freistetter versteht es, mit angenehmer Sprache und didaktischem Geschick vor dem Leser ein lehrreiches Panoptikum der gesamten Astronomie aufzubauen. Dabei schildert er die komplexe Umlaufbahn oder die Geburt des Erdtrabanten ebenso verständlich wie die kosmische Hintergrundstrahlung, die uns von allen Richtungen aus den Tiefen des Weltalls erreicht, oder Grundzüge der Relativitätstheorie. Er erklärt, woher das Navi in unserem Auto weiß, wo es langgeht, dass der Treibhauseffekt auch sein Gutes hat (weil wir ohne ihn gar nicht existieren würden) oder weshalb es nachts dunkel ist (was weniger banal ist als zunächst gedacht).

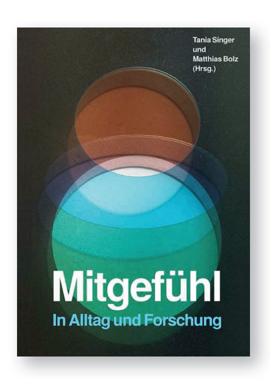
Der Autor holt den Leser in seiner alltäglichen Erfahrungswelt ab und startet seine Exkursionen ins Universum stets vom Boden bekannter Tatsachen. Als ein Beispiel von vielen sei die im Detail recht komplexe Elementensynthese genannt. Die beginnt Florian Freistetter in einer Bar, bei einem Bier und einem Eintopf, in dem die Energie der Sterne steckt – und dem zur Entspannung schließlich ein Caipirinha folgt. Dieser enthält, neben diversen Geschmacksstoffen, vor allem Alkohol und Wasser. Letzteres ist einer der Stoffe, aus denen die Kometen sind.

Wasserstoff entstand vor knapp 14 Milliarden Jahren im Urknall, bei dem auch noch ein wenig Helium und winzige Mengen Lithium in die Welt kamen. Alle anderen Elemente haben sich in der Folge schrittweise gebildet – das Silicium, das den größten Teil unseres Glases ausmacht, das Neon, wie es in den Leuchtstoffröhren in der Bar vorhanden ist, oder das Salz im Streuer auf dem Tisch, das aus Natrium und Chlor besteht. Diese komplexen Elemente wurden erst im Laufe von Jahrmilliarden im Innern der Sternen erbrütet. Und damit ist Freistetter voll im Thema und kann spielerisch die unterschiedlichsten astronomischen Fakten unterbringen.

Dieses Prinzip funktioniert durch das ganze Buch hindurch recht gut. Der astronomisch vorgebildete Leser sieht ihm Bekanntes vielleicht mit anderen Augen. Der Neuling aber wird nicht wenig staunen angesichts der faszinierenden, teils sehr engen und unmittelbaren Beziehungen zwischen der „Welt da draußen" und dem, was wir mit eigenen Augen wahrnehmen oder fühlen. Die Astronomie steckt eben in viel mehr als nur im Wechsel der Jahreszeiten oder in den Phasen des Mondes.

So wird der „Spaziergang durch das Alltagsuniversum" (Klappentext) zu einer lehrreichen Exkursion zum Kern der Dinge. Buchempfehlungen und ein Register erhöhen den Nutzwert. Und wer sich beim nächsten Mal darüber ärgert, wenn ihm der Herbststurm die Frisur zerzaust, der findet in Freistetters Buch zwar keinen Trost, dafür aber eine plausible Erklärung – die natürlich mit Astronomie zu tun hat …

Helmut Hornung



Mitgefühl, multimedial

Tania Singer, Matthias Bolz (Hrsg.), **Mitgefühl. In Alltag und Forschung**

557 Seiten, München 2013. Das E-Book ist als kostenfreier Download erhältlich unter www.compassion-training.org

Der Buddhismus lehrt Mitempfinden schon seit Jahrtausenden. Wissenschaftler haben dagegen erst vor wenigen Jahrzehnten begonnen, sich damit auseinanderzusetzen. Die gesammelten Erkenntnisse zum Thema Mitgefühl machen Tania Singer und Matthias Bolz vom Leipziger Max-Planck-Institut für Kognitions- und Neurowissenschaften in ihrem neu erschienenen Multimedia-E-Book *Mitgefühl. In Alltag und Forschung* jetzt allen Interessierten kostenfrei zugänglich.

„Ziel unserer Forschung – und dieses Buches – ist es, dem Thema Mitgefühl in unserer Gesellschaft eine größere Aufmerksamkeit zu verschaffen und so die Entwicklung einer solidarischeren und nachhaltigeren Gesellschaft zu unterstützen", sagt Tania Singer, Direktorin der Abteilung Soziale Neurowissenschaft am Leipziger Max-Planck-Institut. Das aufwendig produzierte E-Book beleuchtet das Thema dazu aus unterschiedlichen Blickwinkeln.

Ein wesentlicher Teil des Werks beschäftigt sich mit der Erforschung des Mitgefühls. So hat Tania Singer in einer Studie gezeigt, dass Empathie – also die Fähigkeit, sich in andere hineinzuversetzen – und Mitgefühl von verschiedenen biologischen Systemen und neuronalen Netzwerken unterstützt werden.

In anderen Kapiteln erklären Forscher aus Singers Abteilung, wie meditationsgestützte Mitgefühlspraxis schmerzhemmend wirken und Mitgefühlstraining positive Emotionen und soziale Nähe fördern kann. Davon können die körperliche und seelische Gesundheit profitieren, etwa durch die Senkung von Stresshormonen wie Kortisol.

Das E-Book stellt wissenschaftlich untersuchte Mitgefühlstrainingsprogramme zum Teil erstmalig vor und beschreibt, welche praktischen Erfahrungen damit in Schulen, in der Therapie und in der Sterbebegleitung gemacht wurden. Es bietet damit interessante, lehrreiche, aber auch berührende Einblicke. So wird Mitgefühlstraining vor allem im medizinischen Bereich immer wichtiger – nicht nur im Umgang des klinischen Personals mit Schwerkranken oder Sterbenden, sondern auch bei der Verarbeitung dessen, was Ärzte oder Krankenschwestern tagtäglich erleben.

Die Idee zum E-Book entstand als Folge des Workshops *How to Train Compassion*, den Singers Abteilung 2011 im Studio des Künstlers Olafur Eliasson in Berlin organisiert hatte. Er brachte damals Forscher, Künstler, Psychotherapeuten und buddhistische Mönche zusammen. Im Nachklang der Veranstaltung hatten die Beteiligten den Wunsch, die Inhalte einem breiten Publikum zugänglich zu machen. Mit Unterstützung der Max-Planck-Gesellschaft konnte das multimediale E-Book realisiert werden.

Das Werk bietet umfangreiches Videomaterial, Soundcollagen von Nathalie Singer sowie beeindruckende Bilder von Olafur Eliasson. Damit fängt es auch etwas von der künstlerischen Atmosphäre des Berliner Workshops ein. Der parallel entstandene Dokumentarfilm *Raising Compassion* (35 Minuten) von Tania Singer und Olafur Eliasson zeigt einen einzigartigen Austausch zwischen den ganz unterschiedlichen Teilnehmern des Workshops.

Christina Beck

Weitere Empfehlungen

- ➔ Claudi Alsina, Roger B. Nelsen, **Bezaubernde Beweise**, Eine Reise durch die Eleganz der Mathematik. 352 Seiten, Springer Verlag, Berlin 2013, 24,95 Euro
- ➔ Vilayanur S. Ramachandran, **Die Frau, die Töne sehen konnte**, Über den Zusammenhang von Geist und Gehirn. 528 Seiten, Rowohlt Verlag, Reinbek 2013, 24,95 Euro
- ➔ Thomas Wynn, Frederick L. Coolidge, **Denken wie ein Neandertaler**. 288 Seiten, Verlag Philipp von Zabern, Darmstadt 2013, 29,99 Euro

Standorte

- Institut / Forschungsstelle
- Teilinstitut / Außenstelle
- Sonstige Forschungseinrichtungen
- Assoziierte Forschungseinrichtungen

Niederlande
- Nimwegen

Italien
- Rom
- Florenz

USA
- Florida

Brasilien
- Manaus

Luxemburg
- Luxemburg

SCHLESWIG-HOLSTEIN
Plön
Rostock
Greifswald
MECKLENBURG-VORPOMMERN
Hamburg
Bremen
NIEDERSACHSEN
BRANDENBURG
Berlin
Potsdam
Hannover
Magdeburg
Münster
NORDRHEIN-WESTFALEN
Katlenburg-Lindau
SACHSEN-ANHALT
Dortmund
Mülheim
Göttingen
Halle
Düsseldorf
Leipzig
SACHSEN
Köln
Jena
Dresden
Bonn
Marburg
THÜRINGEN
Bad Münstereifel
HESSEN
RHEINLAND-PFALZ
Bad Nauheim
Mainz
Frankfurt
SAARLAND
Kaiserslautern
Saarbrücken
Erlangen
Heidelberg
BAYERN
Stuttgart
Tübingen
Garching
BADEN-WÜRTTEMBERG
München
Martinsried
Freiburg
Seewiesen
Radolfzell

MAX-PLANCK-GESELLSCHAFT

Impressum

MaxPlanckForschung wird herausgegeben von der Wissenschafts- und Unternehmenskommunikation der Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften e.V., vereinsrechtlicher Sitz: Berlin.
ISSN 1616-4172

Redaktionsanschrift
Hofgartenstraße 8, 80539 München
Telefon: 089 2108-1276 (Fax: -1405)
E-Mail: mpf@gv.mpg.de
Internet: www.mpg.de/mpforschung
Kostenlose App: www.mpg.de/mpf-mobil

Verantwortlich für den Inhalt
Dr. Christina Beck (-1276)

Redaktionsleitung
Peter Hergersberg (Chemie, Physik, Technik; -1536)
Helmut Hornung (Astronomie; -1404)

Redaktion
Susanne Beer (Kultur, Gesellschaft; -1342)
Dr. Elke Maier (Biologie, Medizin; -1064)
Dr. Harald Rösch (Biologie, Medizin; -1756)

Bildredaktion
Susanne Schauer (-1562)

Wissenschaftlicher Beirat
Prof. Dr. Gerhard Wegner
Prof. Dr. Heinz Wäßle
Prof. Dr. Wolfgang Prinz

Gestaltung
Julia Kessler, Sandra Ostertag
Voßstraße 9
81543 München
Telefon: 089 2781 8770
E-Mail: projekte@designergold.de

Litho
kaltner verlagsmedien GmbH
Dr.-Robert-Zoller-Straße 1
86399 Bobingen

Druck & Vertrieb
Vogel Druck- & Medienservice GmbH
Leibnizstraße 5, 97204 Höchberg

Anzeigenleitung
Beatrice Rieck
Vogel Druck- & Medienservice GmbH
Leibnizstraße 5, 97204 Höchberg
Telefon: 0931 4600-2721 (Fax: -2145)
E-Mail: beatrice_rieck@vogel-druck.de

MaxPlanckForschung berichtet über aktuelle Forschungsarbeiten an den **Max-Planck-Instituten** und richtet sich an ein breites wissenschaftsinteressiertes Publikum. Die Redaktion bemüht sich, auch komplexe wissenschaftliche Inhalte möglichst allgemeinverständlich aufzubereiten. Das Heft erscheint in deutscher und englischer Sprache (**MaxPlanckResearch**) jeweils mit vier Ausgaben pro Jahr; die Auflage dieser Ausgabe beträgt 85000 Exemplare (**MaxPlanckResearch**: 10000 Exemplare). Der Bezug ist kostenlos. Ein Nachdruck der Texte ist nur mit Genehmigung der Redaktion gestattet; Bildrechte können nach Rücksprache erteilt werden. Die in **MaxPlanckForschung** vertretenen Auffassungen und Meinungen können nicht als offizielle Stellungnahme der **Max-Planck-Gesellschaft** und ihrer Organe interpretiert werden.

Die **Max-Planck-Gesellschaft** zur Förderung der Wissenschaften unterhält 82 Institute und Forschungseinrichtungen, in denen rund 21400 Personen forschen und arbeiten, davon etwa 5500 fest angestellte Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler. Der Jahresetat 2013 umfasst insgesamt 1,53 Milliarden Euro. Die **Max-Planck-Institute** betreiben Grundlagenforschung in den Natur-, Lebens- und Geisteswissenschaften. Die **Max-Planck-Gesellschaft** ist eine gemeinnützige Organisation des privaten Rechts in der Form eines eingetragenen Vereins. Ihr zentrales Entscheidungsgremium ist der Senat, in dem Politik, Wissenschaft und sachverständige Öffentlichkeit vertreten sind.



MaxPlanckForschung wird auf Papier aus vorbildlicher Forstwirtschaft gedruckt und trägt das Siegel des Forest Stewardship Council (FSC)